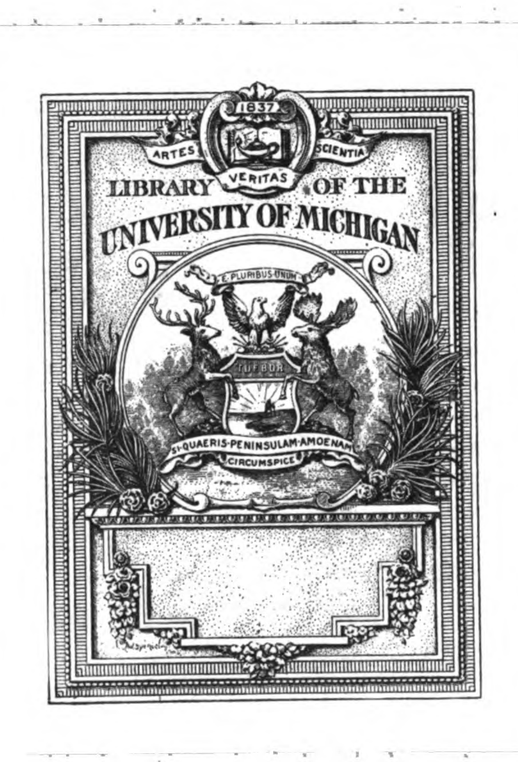


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Foerster** in Berlin, **R. Fuess** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **F. R. Helmert** in Potsdam, **H. Kronecker** in Bern, **H. Krüss** in Hamburg, **V. v. Lang** in Wien, **A. Raps** in Berlin, **J. A. Repsold** in Hamburg, **A. Rueprecht** in Wien, **R. Straubel** in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** und Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einunddreißigster Jahrgang 1911.

Mit Beiblatt: Deutsche Mechaniker-Zeitung.



Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1911.

Inhaltsverzeichnis.

Referate.

Bücherbesprechungen.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **F. R. Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Raps**, geschäftsführendes Mitglied, Dr. **H. Krüss**, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **Januar 1911.** Erstes Heft.

Geradsichtiger lichtstarker Monochromator[1]).

Von

H. du Bois in Berlin.

(Mitteilung aus dem Bosscha-Laboratorium.)

Von jeher macht sich bei vielen optischen Arbeiten das Bedürfnis nach monochromatischem Lichte von großer Helligkeit geltend; das an Gittern gebeugte kommt dabei der Lichtschwäche wegen gar nicht in Betracht. Mit den von alters her gebräuchlichen Filtern der verschiedensten Art erreicht man nur eine mangelhafte Monochromasie, wenn auch die neuesten Filter von Schott & Gen. sowie von Wratten & Wainwright gute Dienste leisten können. Das von farbigen Flammen ausgestrahlte Licht läßt sich sehr hell leuchtend herstellen und vielfach verwenden[2]), namentlich mit Filtern kombiniert. Für Interferentialmethoden u. dgl. erweist sich dagegen Funken- und Bogenlicht brauchbarer[3]); indessen wird hierdurch eine stetige Änderung der Wellenlänge auch nicht ermöglicht, und diese ist gerade in vielen Fällen unentbehrlich.

Es bedarf dazu eines einfachen, weniger dispergierenden, aber sehr lichtstarken Monochromators, wobei es hauptsächlich ankommt auf feste Lage des Austrittsspalts und des austretenden Lichtbüschels, sowie auch womöglich des eintretenden. Nur eine recht leicht bewegliche Lichtquelle — wie etwa den „Nernst-Stift" — kann man einer Drehung des Kollimatorrohrs folgen lassen. Namentlich im Hinblick auf die gerade hierbei vielfach gebotene Verwendung des dem Bogenlichte 5- bis 10-mal überlegenen Sonnenlichts ist aber im allgemeinen die „Festarmigkeit" auch beim Kollimator eine unumgängliche Vorbedingung.

In einfachster Weise kann man sich etwa so behelfen, daß man in einem irgendwie erzeugten Sonnenspektrum einen „Spaltspiegel" mit justierbarer Breite unter einem Winkel von nahe 45° zur Spektralebene verschiebbar anordnet. Seine abblendbare Breite bestimmt dann den Grad der Monochromasie, seine Lage die Wellenlänge des reflektierten Büschels; mittels kleiner Änderungen seines Azimuts läßt sich das Licht stets in der Spektralebene weiter reflektieren[4]).

---

[1]) Ein Versuchsapparat wurde der Deutschen Physikalischen Gesellschaft am 19. Nov. 1909 demonstriert; siehe H. du Bois, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **11**. *S. 708. 1909.*

[2]) Im Jahre 1891 habe ich dafür einen Intensivnatronbrenner angegeben, der sich ebenso für andere Dämpfe benutzen läßt; vgl. *diese Zeitschr.* **12**. *S. 165. 1892.*

[3]) Eine übersichtliche Diskussion monochromatischer Lichtquellen findet man bei C. Fabry und A. Perot, *Journ. de phys.* **9**. *S. 369. 1900.*

[4]) Diese Anordnung habe ich s. Zt. zur Messung der geringen Dispersion des magnetooptischen Kerr-Effekts benutzt; vgl. H. du Bois, *Wied. Ann.* **39**. *S. 37. 1890.*

Im Jahre 1892 konstruierte ich dann einen einfachen, geradsichtigen, lichtstarken Monochromator, der sich seitdem für manche Zwecke bewährte[1]), und aus dem der im folgenden zu beschreibende hervorgegangen ist.

Ein Beleuchtungsapparat mit einem Prisma veränderlichen Winkels wurde 1898 von Straubel angegeben, aber, wie es scheint, nicht ausgeführt[2]).

Auf Anregung von Ebert wurde 1904 von der Firma C. A. Steinheil Söhne in München ein lichtstarker Spektralapparat gebaut, bei dem ein ziemlich geradsichtiges fünfgliedriges Prismensystem von 40 × 40 *mm* Querschnitt zur Verwendung gelangte; freilich war dieses zunächst als Spektrograph gedacht[3]).

Schließlich wurde ganz neuerdings, nach der Demonstration des hier zu beschreibenden Instruments, auf Anregung Voigts von der Firma Spindler & Hoyer in Göttingen ein einfacher Monochromator für Praktikumszwecke gebaut, der ein kleines Abbesches Prisma enthält.

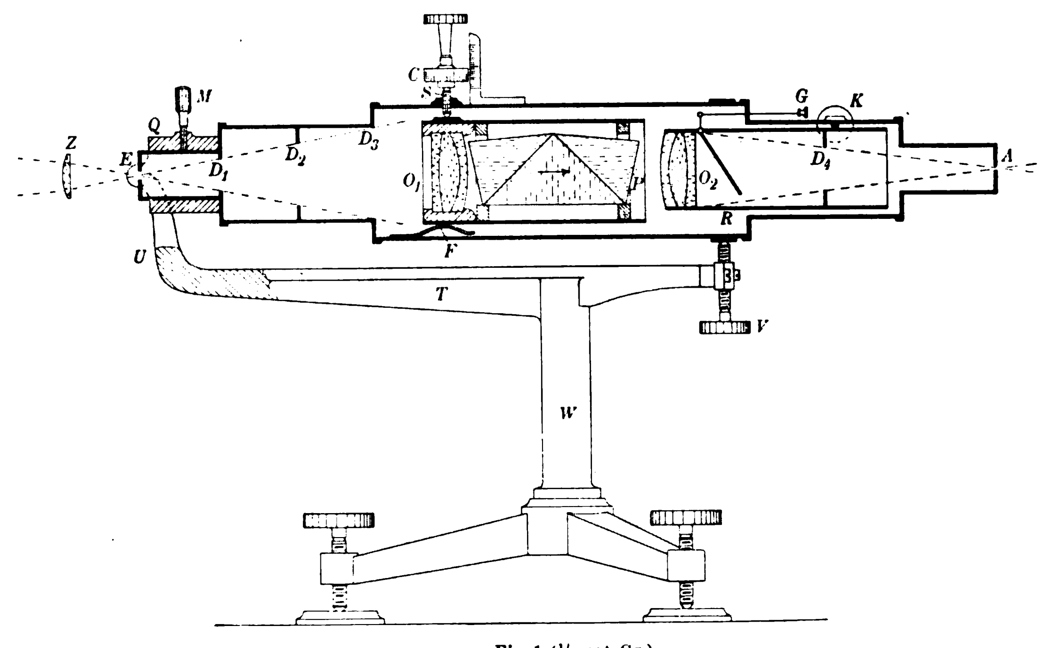


Fig. 1 (1/5 nat. Gr.).

Beschreibung. Wo es auf hohe Dispersion nicht ankommt, bietet die geradsichtige Anordnung den Vorzug der Einfachheit, der Symmetrie und des gedrängteren Baues. Auch können sowohl die Spalte wie die Strahlenrichtung in vertikaler, horizontaler oder jeder beliebigen schrägen Lage benutzt werden, was zuweilen recht erwünscht ist, beispielsweise beim Beobachten einer Flüssigkeit oder Newtonscher Ringe im schräg einfallenden einfarbigen Lichte. Das Prisma ist ein dreigliedriges von 42 × 45 *mm* freiem Profilquerschnitt (Diagonale 61,5 *mm*), dessen Dispersionswinkel zwischen *C* und *F* ungefähr 2° und über das sichtbare Spektrum etwa 3,5° beträgt[4]);

---

[1]) Vgl. z. B. Franz Braun, Dissertation, Berlin 1896.

[2]) R. Straubel, *Wied. Ann.* **66.** *S. 350. 1898.*

[3]) H. Lehmann, *diese Zeitschr.* **24.** *S. 358. 1904.*

[4]) Das im Versuchsapparat benutzte Prisma war ein älteres, nicht völlig geradsichtiges; am besten wird die Geradsichtigkeit etwa für die Linie *F* im Blau eingestellt, welche nahe der Mitte des Spektrums liegt.

seine Absorption ist auch im Violett nur eine geringe; es wird in der Pfeilrichtung durchleuchtet. In der aus der schematischen Fig. 1 ersichtlichen Stellung befinden sich die Linsen O_1 und O_2. Es sind dies dreigliedrige verkittete normale Steinheilsche Fernrohrobjektive; ihr lichter Durchmesser beträgt 54 *mm*, die Brennweite im Mittel 216 *mm*, mithin das Öffnungsverhältnis 1 : 4.

Dieses wurde aus praktischen Gründen gewählt, um den Monochromator möglichst kurz zu gestalten, sowie auch im Hinblick auf den weiteren Strahlengang und die durch ihn zu beleuchtende Apparatur. Aus den angegebenen Abmessungen ergibt sich als Gesichtsfeld nahezu ein Quadrat mit schwach abgerundeten Ecken; diese Form wurde mit Rücksicht auf die beste Ausnutzung des Prismas und das ähnliche Profil mancher Polarisationsprismen u. dgl. gewählt; bei Verwendung kleinerer Objektive kann man ein kreisrundes Gesichtsfeld erhalten. Im vorliegenden Falle wird die Divergenz in der Diagonale dem Öffnungsverhältnis 1 : 4 der Linsen entsprechen; parallel den Prismenkanten beträgt sie etwa 1 : 5.

Das Eintrittsobjektiv O_1 ist mit der Prismenfassung starr verbunden; das Ganze ist um kräftige Zapfen P drehbar, derart, daß die Drehachse mitten in der Austrittsfläche des Prismas liegt. Die Drehung erfolgt mittels der Mikrometerschraube S von 1 *mm* Ganghöhe, deren eine Stahlkugel tragendes Ende gegen eine Achatplatte stößt. Die Trommel C ist in 100 Teile geteilt; sie läßt sich mittels kardanischen Gelenks bezw. durch eine biegsame Welle vom Beobachter aus bequem drehen; eine starke neusilberne Blattfeder F soll den toten Gang verhindern.

Dem sichtbaren Spektrum entspricht eine Verschiebung der Schraube um 12 *mm*; offenbar wird die Linse O_1 in den seitlichen Stellungen vom Hauptstrahl schräg durchleuchtet. Man könnte dies vermeiden, indem man sie mittels eines passenden Gelenks um den Eintrittsspalt E drehbar anordnet und die beiden Drehungen — der Linse und des Prismas — zusammen mit der Bewegungsschraube koppelt; indessen erscheint eine solche Komplikation und Verteuerung des Apparates überflüssig, da sich nachteilige Folgen der gewählten Anordnung bisher nicht ergaben. Überhaupt braucht die Dioptrik bei solchen einfachen Systemen den sonst mit Recht zu stellenden Forderungen nicht genau zu entsprechen; bei einem geradsichtigen Prismensatz kann man z. B. von einer Minimumstellung der Einzelprismen füglich nicht reden, sodaß es auch nicht schadet, wenn das Ganze keine Minimalablenkung erzeugt, wie es hier im allgemeinen auch nicht zutrifft. Das einzige wesentliche Kriterium ist die Güte der Abbildung, etwa des Sonnenspektrums, und diese erwies sich für die beabsichtigten Zwecke genügend, sodaß eine Abweichung von der sonst üblichen theoretischen Norm wohl zulässig erscheint.

Dadurch, daß die Eintrittslinse sich mit dem Prisma dreht, ist eine gegenseitige Vignettierung nicht zu befürchten; das auf erstere fallende Lichtbüschel, und folglich auch das den Eintrittsspalt E treffende, muß senkrecht zur Spaltrichtung eine Divergenz 1 : 2,5 haben, damit das Objektiv in jeder Lage voll beleuchtet bleibe; hierzu kann man etwa hinter der Hauptbeleuchtungslinse noch eine schwache Zylinderlinse Z von etwa 200 *mm* Brennweite verwenden. Bei der Lagenänderung der Linse O_1 kommt dann jeweilig ein anderer Strahl als Hauptstrahl in Betracht; auch die Entfernung des zweiten Hauptpunkts zum Spalt — welche der Brennweite gleichbleiben sollte — variiert um ein Geringes. Da nun die Objektive doch nicht völlig achromatisch sind, ist schon deshalb eine Korrektur erforderlich; sie wird erreicht, indem das Austrittsobjektiv O_2 mit einem beweglichen inneren Auszugrohr R mittels der geteilten Kordenschraube K verschiebbar ist.

Die beiden Spalte sind bilateral, ihre Breite ist ablesbar; der Eintrittsspalt kann mit einem Vergleichsprisma ausgestattet werden. Die Spaltbacken sind geschwärzt und gerade, da eine Krümmung der Spektrallinien kaum auftritt. Der Austrittsspalt kann entfernt und ganz genau an dessen Stelle ein Fadenkreuz eingesetzt werden; mittels seitlicher Okularblenden kann man jeden beliebigen Teil des Spektrums herausblenden. In einem Okularansatz lassen sich allerlei Okulare für verschiedene Zwecke anbringen.

Rechteckige Blenden D_1, D_2, D_3 begrenzen das eintretende Lichtbüschel von größerem seitlichen Öffnungsverhältnis. Hinter dem Austrittsobjektiv befindet sich noch eine quadratische Blende D_4 sowie ein drehbarer Blendstreifen von etwa 5 *mm* Breite, der mittels des Griffes *G* von außen her entweder vor die Linse gebracht oder zur Seite weggedreht werden kann; er dient gegebenenfalls dazu, die dreifachen Reflexe der Objektive abzublenden, welche sich bei der Bewegung der Linse O_1 in der Drehungsebene verschieben[1]).

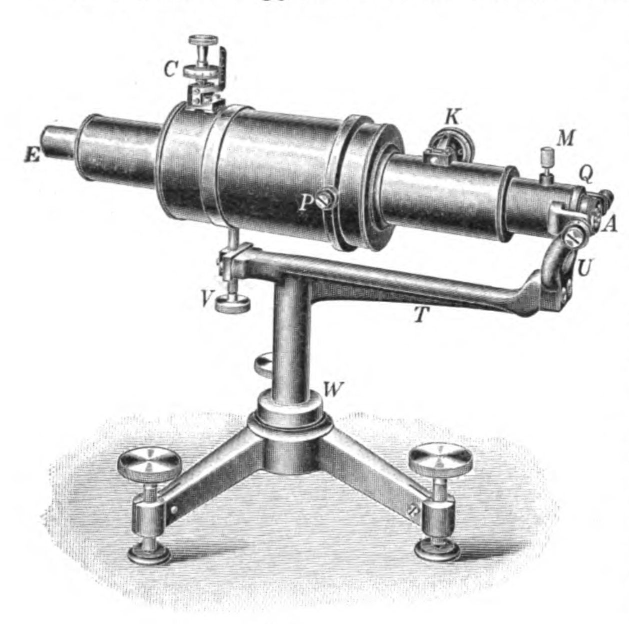


Fig. 2.

Das ganze optische System ist starr in einem sich an beiden Enden verjüngenden Hauptrohre befestigt, welches also den gesamten Monochromator darstellt; es kann bequem in irgendein vorhandenes größeres Stativ in jeder gewünschten Lage eingeklemmt werden. Für manche Zwecke hat sich das Spezialstativ *W* (Fig. 2) zweckmäßig erwiesen; dabei wird entweder das Eintrittsende (wie in Fig. 1) oder das Austrittsende (wie in Fig. 2) in einen Klemmring *Q* gesteckt. Das Hauptrohr wird dadurch um seine Längsachse in jenem Ringe drehbar, wobei die Spaltrichtung beliebig zu der — in den Fig. 1 und 2 abgebildeten — horizontalen Lage geneigt und mittels der Klemmschraube *M* fixiert werden kann. Der Ring ist wieder um eine horizontale Achse in einer Gabel *U* am Ende des Tragebalkens *T* drehbar, sodaß das Spektralrohr mittels der Stellschraube *V* gerichtet werden kann; das Stativ bringt die optische Achse in 30 *cm* Normalhöhe[2]) über Tischfläche. Das ganze Instrument ist völlig eisenfrei, um es unmittelbar vor die Bohrung eines Elektromagnets aufstellen zu können.

Gebrauchsanweisung. Ohne hier auf die übliche Werkstatts-Justierung derartiger Apparate einzugehen, sei nur folgendes bemerkt. Die beiden Spalte sollen den

[1]) Da dieser schwarze Balken im Gesichtsfelde zuweilen störend empfunden wird, wäre es erwünscht, die Reflexe in anderer Weise zu beseitigen. Hierzu hat man gelegentlich schwache Glaskeile benutzt, welche auf die Planfläche der Objektive gekittet oder mit diesen vereinigt wurden; das Prisma wäre dann so zu berechnen, daß das ganze System für *E* geradsichtig würde.

[2]) Im hiesigen Laboratorium haben alle optisch zu verwendenden Apparate eine metrische Achsenhöhe, die meisten 300 *mm*, andere 200, 250, 350, 400, 450 *mm*. In Verbindung mit dezimalen Klötzen, Tischchen und Stativen von 50, 100, 150, 200, 250 *mm* bedingt dies Bequemlichkeit und Zeitersparnis.

brechenden Prismenkanten genau parallel liegen. Der Eintrittsspalt ist für Blau und Gelb im Brennpunkt des Objektivs O_1 eingestellt. Die richtige Einstellung der geteilten Schraube K am Auszugsrohr R ist für verschiedene Farben mittels des Sonnenspektrums leicht zu ermitteln und ein für allemal zu notieren, indem die richtige Entfernung vom Objektiv O_2 bis zum Austrittsspalt im Blaugrünen ein Maximum ist und für Rot und Violett kürzer wird. Ein merklicher toter Gang der Bewegungsschraube S war bisher nicht bemerkbar; trotzdem empfiehlt es sich, bei der Einstellung die Trommel im Sinne eines eingravierten Pfeils von kleineren zu größeren Zahlen — bezw. auch Wellenlängen — zu drehen.

Bei der Benutzung als Monochromator ist der gesamte äußere Strahlengang dem innern sorgfältig anzupassen; namentlich müssen nach dem Obigen die Beleuchtungslinsen ein Lichtbüschel von der seitlichen Konvergenz 1 : 2,5 auf den Spalt konzentrieren, und die Austrittsdivergenz muß 1 : 4 betragen. Auf eine Wellenlängentrommel, wie jetzt vielfach üblich, wurde zunächst verzichtet; eine solche wäre indessen leicht anzubringen. Zur Auswertung des Monochromators in seinem Nutzbereiche von genügender Helligkeit — etwa 400 bis 700 $\mu\mu$ — genügt meistens das Sonnenspektrum oder dasjenige der bekannten Helium-Wasserstoff-Quecksilberrohre bezw. der Aronsschen Quecksilberlampe. So erhielt man z. B.

Farbe	Violett	Indigo	Blau	Grün	Gelb	Orangerot	Rot
Wellenlänge	400	450	500	550	600	650	700 $\mu\mu$
Trommelablesung	140	614	874	1053	1173	1260	1328

Die auflösende Kraft des Prismas im Grünen liegt etwa zwischen 3000 und 4000; dementsprechend werden die beiden D-Linien (Abstand 0,6 $\mu\mu$) noch glatt getrennt, und man erhält trotz der geringen Dispersion noch ein recht feingezeichnetes Sonnenspektrum von außerordentlicher Helligkeit; darin erscheinen z. B. auch die grünen Eisendoppellinien bei 542 und 545 $\mu\mu$ bei genügender Okularvergrößerung noch getrennt (Abstand je 0,2 $\mu\mu$ ungefähr).

Die Breiten des Ein- und Austrittsspaltes wird man am besten gleich wählen; bei 0,10 *mm* Spaltbreite ist die „Homogenität" für grünes Licht in der Mitte des Spektrums von der Ordnung einiger $\mu\mu$; bei geringeren Spaltbreiten nimmt sie diesen proportional ab. Die ganze Länge des sichtbaren Spektrums beträgt beim Versuchsapparat etwa 13 bis 14 *mm*. Gegen das niemals ganz zu beseitigende „falsche" weiße Licht verwendet man am besten die anfangs erwähnten Filter. Zwischen Blau und Gelb entsprechen nach obiger Tabelle etwa 3 Trommelteile einer Wellenlängendifferenz von 1 $\mu\mu$; die Sicherheit der Einstellung beträgt einen Bruchteil eines Trommelteils; es ist also der Mechanismus der Optik gewissermaßen überlegen.

Die erzielte Helligkeit ist eine recht befriedigende; das Instrument wurde neuerdings von Hrn. Dr. Loria bei der Untersuchung des Kerr-Effektes schwach reflektierender Ferrite u. dgl. dauernd benutzt[1]); seiner Kalibrationskurve ist obige Tabelle entnommen.

Der beschriebene Versuchsapparat wurde durch Umbau des Instruments von 1892 in der Laboratoriumswerkstatt hergestellt; bei der Umarbeitung und Erprobung hat mich Hr. Dr. Elias in dankenswerter Weise unterstützt.

---

[1]) St. Loria, *Versl. Akad. Wet. Amsterd.* **18.** *S. 903. 1910.*

Die Firma Fr. Schmidt & Haensch in Berlin hat die fernere Fabrikation übernommen und das in Fig. 2 dargestellte Instrument bereits auf der Naturforscherversammlung in Königsberg demonstriert; auf Wunsch wird es eisenfrei gehalten, und das mitabgebildete Stativ sowie sonstige Zubehörteile werden mitgeliefert. Auch ist noch eine Type mit kleineren Prismen und Linsen vorgesehen, die dann freilich weniger lichtstark ausfallen muß.

Präzisionsmessungen an Selbstinduktionsnormalen (I. Teil).

Von

E. Giebe.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

1. Einleitung.

In neuerer Zeit sind neben den drei Grundeinheiten des Ohmschen Gesetzes auch die sogenannten abgeleiteten Einheiten der Induktivität und Kapazität und die sie darstellenden Normale, denen für Wechselstrommessungen eine große Bedeutung zukommt, Gegenstand eingehender Untersuchungen in den Staatslaboratorien der verschiedenen Länder[1]). Über Kapazitätsnormale der Reichsanstalt und ihre absolute Messung wurde bereits vor einiger Zeit berichtet[2]). Die folgenden Untersuchungen betreffen Selbstinduktionsnormale und Selbstinduktionsvergleichungen.

Die grundlegenden Arbeiten auf diesem Gebiet sind bekanntlich von M. Wien[3]) ausgeführt, der auch die jetzt fast durchgängig benutzte Form der Selbstinduktionsnormale angegeben hat. Dolezalek[4]) und Wien dehnten die Selbstinduktionsmessungen später auch auf hohe Wechselstromfrequenzen aus. Die Ergebnisse dieser Messungen gaben Aufschluß über die Eigenkapazität der Spulen und vor allem über die Wirkung der ungleichmäßigen Stromverteilung im Leiterquerschnitt, die Hautwirkung (*skin effect*), und veranlaßten Dolezalek, an Stelle des von Wien für seine Normale benutzten massiven Kupferdrahtes Drahtlitze zu verwenden.

Nachdem in der Reichsanstalt bereits vor mehreren Jahren[5]) ein Satz von Normalspulen mit Dolezalek-Litze hergestellt war, bestand die Aufgabe darin, die Eigenschaften dieser Normale in einem großen Frequenzbereich, insbesondere bei den für die Telephontechnik wichtigen Frequenzen (etwa 500 bis 3000) festzustellen. Die Ausdehnung der Untersuchungen auf hohe Frequenzen machte es zugleich möglich, für Spulen kleiner Selbstinduktion, wie sie in der drahtlosen Telegraphie vielfach benutzt werden, eine höhere Meßgenauigkeit als bei niedrigen Frequenzen zu erreichen.

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf den praktisch wichtigsten Fall der Selbstinduktionsvergleichung. Es ergab sich, daß die bei niedrigen Frequenzen übliche Meßanordnung bei hohen Frequenzen zu ganz erheblichen Fehlern Anlaß gibt, und ferner, daß bei den erwähnten Normalspulen nach Dolezalek die Hautwirkung nicht in dem erwünschten Maße beseitigt ist. Dementsprechend werden im I. Teil dieser

[1]) Vgl. Rosa und Grover u. A. in den *Bull. of the Bureau of Standards* der letzten Jahre; Albert Campbell (*Nat. Phys. Lab.*), *Phil. Mag.* **15.** *S. 155. 1908*; **19.** *S. 497. 1910.*

[2]) Giebe, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 269. 1909.*

[3]) M. Wien, *Wied. Ann.* **44.** *S. 689. 1891*; **57.** *S. 249. 1896*; **58.** *S. 553. 1896*; *Ann. d. Physik* **4.** *S. 425. 1901*; **14.** *S. 1. 1904.*

[4]) Dolezalek, *Ann. d. Physik* **12.** *S. 1142. 1903.*

[5]) Tätigkeitsbericht der Phys.-Techn. Reichsanstalt für 1903, *diese Zeitschr.* **24.** *S. 193. 1904.*

Arbeit die theoretischen Grundlagen der Meßmethode, die Fehlerquellen sowie die zur Beseitigung derselben erforderliche Meßanordnung behandelt, die von der bisher üblichen beträchtlich abweicht. Der II. Teil enthält die experimentellen Resultate für eine Anzahl mit verschiedenartiger Litze hergestellter Normale von $1 \cdot 10^{-4}$ bis 1 Henry in dem Frequenzbereich 50 bis 4800. In der neuen Meßanordnung konnten Selbstinduktionsvergleichungen in dem angegebenen Bereich bis auf 1 bis 2 Hunderttausendstel ausgeführt werden. Ferner ergaben sich genaue Werte für die Eigenkapazität der verschiedenen Spulen und die Widerstandserhöhung durch Hautwirkung, die bei den jetzigen Normalen der Reichsanstalt bis zu Frequenzen von 5000 äußerst klein ist[1]).

2. Meßmethode.

Wohl die beste Methode zum Vergleich zweier Selbstinduktionen ist die von Maxwell[2]) angegebene Brückenmethode (Fig. 1), wobei man zweckmäßig nicht wie Maxwell Induktionsstöße und ballistisches Galvanometer, sondern Wechselströme und Vibrationsgalvanometer oder Telephon anwendet. Die Zweige 1 und 2 enthalten die zu vergleichenden Spulen mit den Selbstinduktionskoeffizienten L_1 und L_2 und den ohmischen Widerständen w_1 und w_2, die Zweige 3 und 4 selbstinduktionsfreie Widerstände w_3 und w_4. Ferner bezeichne M die Wechselstromquelle, einen Gleichstromunterbrecher mit Transformator für niedrige Frequenzen oder eine Wechselstromsirene nach Dolezalek[3]) für hohe Frequenzen, K einen Kondensator, welcher zusammen mit der Selbstinduktion des gesamten Schließungskreises von M Resonanz auf die jeweilige Frequenz herstellt, I einen Strommesser, an dessen maximalem Ausschlag das Eintreten der Resonanz beobachtet wird, T das Nullinstrument. Durch den Kondensator K wird die Intensität der Grundschwingung im Verhältnis zu der der Oberschwingungen außerordentlich erhöht, der Strom also von Oberschwingungen gereinigt, sodaß für hohe Frequenzen bei Benutzung der Sirene Sinusform des Wechselstromes, die wir im folgenden stets voraussetzen, sehr nahe realisiert ist. Bei niedriger Frequenz reagiert das abgestimmte Vibrationsgalvanometer merklich nur auf die Grundschwingung.

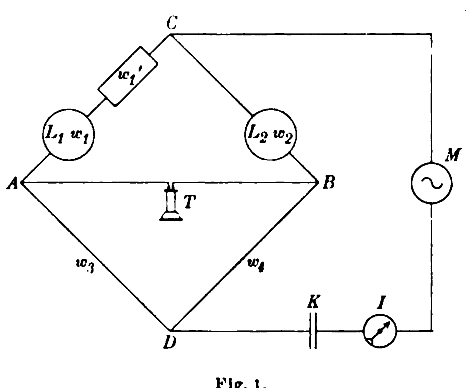


Fig. 1.

Der Strom im Nullinstrument verschwindet, wenn die Spannung zwischen A und C sowohl der Amplitude als der Phase nach gleich der Spannung zwischen B und C ist. Es müssen also zwei Bedingungen erfüllt und demgemäß zwei Größen verändert werden, um den Brückenstrom zu Null zu machen. Man hat daher im allgemeinen zu einer der Spulen, etwa L_1, einen induktionsfreien Widerstand w_1' hinzuzuschalten.

---

[1]) Über die Untersuchungen ist kurz schon in den Tätigkeitsberichten der Reichsanstalt für die Jahre 1905 bis 1909 berichtet, vgl. *diese Zeitschr. 1906 bis 1910.* Ein Teil der Ergebnisse ist bereits in das Buch von E. Orlich, Kapazität und Induktivität (Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn 1909) aufgenommen.

[2]) Maxwell, Elektrizität und Magnetismus. Deutsch v. Weinstein. II. Bd., Art. 757.

[3]) Dolezalek, *diese Zeitschr.* **23.** *S. 240. 1903.*

Für die Rechnung benutzen wir die symbolische Methode, bezeichnen mit n die Frequenz und setzen $\omega = 2\pi n$, $i = \sqrt{-1}$. Aus der Operatorgleichung

$$\frac{w_1 + w_1' + i\omega L_1}{w_2 + i\omega L_2} = \frac{w_3}{w_4}$$

ergeben sich für die Brücke der Fig. 1 die beiden Nullbedingungen

$$w_1 + w_1' : w_2 = w_3 : w_4 \qquad 1)$$

$$L_1 : L_2 = w_3 : w_4 \,. \qquad 2)$$

In den Gleichungen kommt die Frequenz nicht vor; sie müßten also für jede beliebige Frequenz und für beliebige Kurvenform des Wechselstromes gelten. Es ist bekannt, daß dies in vielen Fällen nicht zutrifft, auch wenn die Spulen kein Eisen enthalten und Induktionsströme in sekundären Leitern ausgeschlossen sind. Die Ursache dieser Erscheinung ist einesteils in der Kapazitäts- und Hautwirkung zu suchen, wodurch scheinbar Selbstinduktion und Widerstand der Spulen und somit die Nullbedingungen Funktionen der Frequenz werden. In noch höherem Maße aber ändert sich die Nulleinstellung der Brücke mit der Frequenz, wenn gewisse, bei Ableitung der Gl. 1) u. 2) ausdrücklich oder stillschweigend gemachte Voraussetzungen nicht streng erfüllt sind. Bevor wir uns der Besprechung dieser Fehlerquellen zuwenden, seien zunächst die Formeln abgeleitet, mit Hülfe deren die Eigenkapazität der Spulen und die Widerstandserhöhung durch Hautwirkung zahlenmäßig aus den Ergebnissen der Messungen berechnet werden kann.

3. Messung der Spulenkapazität.

Bei der Eigenkapazität von Spulen hat man es offenbar ähnlich wie bei Kabeln mit einer verteilten Kapazität zu tun. M. Wien[1]) macht die einfache Annahme, daß eine Spule mit Eigenkapazität ersetzt werden kann durch eine kapazitätsfreie Spule, der ein verlustfreier Kondensator parallel geschaltet ist. Wien setzt also an Stelle eines nicht mehr quasistationären Stromes zwei quasistationäre Zweigströme. Unter dieser Voraussetzung erhält man für den Operator einer solchen Spule, wenn w und L Widerstand und Selbstinduktionskoeffizient derselben bei der Frequenz Null und c die Kapazität des ersetzenden Kondensators bedeutet,

$$\frac{w + i\omega\,[L - c\,(w^2 + \omega^2 L^2)]}{(1 - \omega^2 L c)^2 + \omega^2 c^2 w^2} \,. \qquad 3)$$

Der Ausdruck vereinfacht sich, wenn man in den Korrektionsgliedern w^2 gegen $\omega^2 L^2$ vernachlässigt, was stets zulässig ist, weil bei geringen Frequenzen und kleinen Selbstinduktionen, wo w^2 von der gleichen Größenordnung wie $\omega^2 L^2$ wird, der gesamte Einfluß der sehr kleinen Kapazität c überhaupt unmerklich wird. Der obige Ausdruck erhält somit die Form

$$\frac{w}{(1 - \omega^2 L c)^2} + i\omega \frac{L}{1 - \omega^2 L c} \qquad 4)$$

oder auch[2])

$$w\,(1 + 2\,\omega^2 L c) + i\omega L\,(1 + \omega^2 L c)\,, \qquad 4\,a)$$

d. h. die Kapazität c ruft eine scheinbare Vergrößerung des Widerstandes und der Selbstinduktion hervor; die Vergrößerung ist proportional dem Quadrat der Frequenz und für den Widerstand prozentisch doppelt so groß wie für die Selbstinduktion. An Stelle der Gl. 1) u. 2) treten demnach im allgemeinen nach geeigneter Umformung die folgenden:

---

[1]) *a. a. O.*

[2]) Vgl. Orlich, *Elektrotechn. Zeitschr.* **24.** *S. 505. 1903*; Dolezalek, *a. a. O.*

$$\frac{w_1 + w_1'}{w_2} = \frac{w_3}{w_4} - 2\,\omega^2 L_1 \frac{w_1}{w_2}\left(c_1 - c_2 \frac{L_2}{L_1}\frac{w_3}{w_4}\frac{w_2}{w_1}\right) \qquad 5)$$

$$= \frac{w_3}{w_4} - f_5$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{w_3}{w_4} - \omega^2 L_1 \frac{w_3}{w_4}\left(c_1 - c_2 \frac{w_4}{w_3}\right) \qquad 6)$$

$$= \frac{w_3}{w_4} - f_6\,,$$

wobei die Größen L und c ebenso wie in Gl. 3) definiert sind. Gl. 5) ist, wie wir später sehen werden, zur Bestimmung von c_1 und c_2 wenig geeignet. Wir benutzen Gl. 6) und setzen voraus, daß ein hinreichend genauer Näherungswert des absoluten Betrages von L_1 bekannt ist. Dann sind drei Konstanten $\frac{L_1}{L_2}$, c_1, c_2 zu bestimmen, wozu im allgemeinen Messungen bei drei verschiedenen Frequenzen erforderlich sind. Man wählt nun zweckmäßig ein Verhältnis $L_1 : L_2 = 10 : 1$, was überdies bei Normalspulen, die in der Regel nur in den ganzen Dekaden hergestellt werden, das Gegebene st. Experimentell hat sich nämlich gezeigt, daß in diesem Falle die Korrektion f_6 bei Spulen von 0,1 H. und weniger bis zu Frequenzen von 5000 kleiner als 1% von $\frac{w_3}{w_4} = 10$ ist, und ferner, daß die Kapazität der Normalspulen, wie zu erwarten, mit ihrer Selbstinduktion, wenn auch nicht im gleichen Verhältnis, abnimmt. $c_2 \frac{w_4}{w_3}$ ist also unter den angegebenen Verhältnissen kleiner als ein Zehntel von c_1. Man kann daher $\frac{w_4}{w_3}$ als Faktor von c_2 konstant setzen und erhält demgemäß aus den bei *zwei* verschiedenen Kreisfrequenzen ω_I und ω_{II} beobachteten Widerstandsverhältnissen $\left(\frac{w_3}{w_4}\right)_I$ und $\left(\frac{w_3}{w_4}\right)_{II}$

$$c_1 - \frac{c_2}{10} = \frac{\left(\frac{w_3}{w_4}\right)_{II} - \left(\frac{w_3}{w_4}\right)_I}{L_1\left[\omega_{II}^2\left(\frac{w_3}{w_4}\right)_{II} - \omega_I^2\left(\frac{w_3}{w_4}\right)_I\right]} \qquad 6\text{a})$$

und damit aus Gl. 6) das Verhältnis $\frac{L_1}{L_2}$ für die Frequenz Null, das übrigens bei Ausführung der Messung mit 50-periodigem Wechselstrom schon sehr nahe richtig gefunden wird.

Die Kapazität der kleinsten hier untersuchten Normale (10^5 *cm*) ist so gering, daß beim Vergleich der Spulen 10^6 und 10^5 *cm* auch für $n = 5000$ $\omega^2 L_1 c_2$ in Gl. 6) gegen $\frac{w_3}{w_4} = 10$ verschwindet. Durch stufenweise Vergleichung im Verhältnis 10 : 1 können demnach für die Dekaden von 10^6 *cm* aufwärts die Kapazitäten aller Spulen einzeln bestimmt werden. Die Genauigkeit der so ermittelten Kapazitätswerte ist natürlich bei den kleineren Spulen geringer als bei den größeren.

Die Wiensche Annahme, die in älteren Untersuchungen stets ohne weiteres als in Wirklichkeit zutreffend angesehen wurde, bedarf der experimentellen Prüfung an der Hand der Gl. 6). Die zunächst nur Rechengrößen darstellenden Kapazitäten c müssen sich, wenn von ihnen als von Konstanten der Spulen im genannten Sinne gesprochen werden soll, als unabhängig von der Frequenz ergeben, ebenso das Verhältnis L_1/L_2. Da die Hautwirkung neben einer Vergrößerung des Spulenwiderstandes eine Verkleinerung der Selbstinduktion hervorruft, so kann Gl. 6) nur beim Vergleich hautwirkungsfreier Spulen zutreffen.

4. Messung der Widerstandserhöhung.

Als Normale kommen nur Litzendrahtspulen in Betracht, bei welchen die Widerstandserhöhung sehr gering ist. Eine genaue Messung derselben ist unter anderem auch deshalb von Wichtigkeit, weil bei fast allen Methoden zur Bestimmung des absoluten Wertes der Selbstinduktionen der Widerstand in die Messung eingeht, also als Funktion der Frequenz bekannt sein muß. Wir bezeichnen die durch Hautwirkung hervorgerufene Widerstandserhöhung der beiden Spulen in Fig. 1 mit δw_1 und δw_2 und schreiben Gl. 5), da in f_5 $\frac{L_2}{L_1} \cdot \frac{w_3}{w_4} = 1$ und $\frac{w_1 + \delta w_1}{w_2 + \delta w_2} = \frac{w_1}{w_2}$ gesetzt werden kann, in der Form

$$\frac{w_1 + \delta w_1 + w_1'}{w_2 + \delta w_2} = \frac{w_3}{w_4} - 2\,\omega^2 L_1 \frac{w_1}{w_2}\left(c_1 - c_2 \frac{w_2}{w_1}\right). \qquad 7)$$

Für δw_1, δw_2 ist Proportionalität mit dem Quadrat der Frequenz zu erwarten. Ersetzt man nun nach Ausführung der Wechselstrommessung den Wechselstrom durch Gleichstrom, das Telephon durch ein Galvanometer, so muß man jetzt, um den Ausschlag des Galvanometers auf Null zu bringen, bei unverändertem w_3/w_4 den Widerstand w_1' um den Betrag δ ändern. Es gilt also für Gleichstrom

$$\frac{w_1 + w_1' \pm \delta}{w_2} = \frac{w_3}{w_4}, \qquad 8)$$

und man erhält mit Gl. 7)

$$\delta w_1 - \frac{w_3}{w_4}\,\delta w_2 = \pm\,\delta - 2\,\omega^2 L_1 (c_1 w_1 - c_2 w_2). \qquad 9)$$

Die Kapazitätskorrektion kann berechnet werden, wenn c_1 und c_2 nach Abschnitt 3 gemessen sind. Es liegt in der Natur der relativen Meßmethode, daß man nicht δw_1 und δw_2 einzeln bestimmen kann. Führt man die Messungen an einem Satz von Normalspulen im Verhältnis 1 : 10 durch und beobachtet für alle Dekaden δ nahezu Null, so kann man den Schluß ziehen, daß auch die absoluten Beträge δw_1, δw_2 sehr klein sind; denn es ist wenig wahrscheinlich, daß in allen Dekaden δw_1 nahezu gleich $10\,\delta w_2$ ist, weil die verschiedenen Spulen in der Regel mit Litze von verschiedenem Kupferquerschnitt hergestellt sind und ihre Widerstände sich keineswegs wie die Selbstinduktionen, d. i. wie 1 : 10, verhalten. Gleichwohl müssen für die genaue Ermittlung der absoluten Beträge δw andere Messungen herangezogen werden.

5. Scheinbare Widerstandszunahme durch unzureichende Isolation.

Auf diese Fehlerquelle muß etwas näher eingegangen werden, da durch sie die Resultate der Widerstandsmessung bei hoher Frequenz erheblich gefälscht werden können. Es kommt dabei der Isolationswiderstand zwischen den Anschlußklemmen der Spule, zwischen den Zuleitungen und zwischen den einzelnen Windungen und Lagen der Spule in Betracht. Wir nehmen an, ähnlich wie bei Berechnung der Kapazitätswirkung (Abschn. 3), daß der Isolationswiderstand als ein der Spule parallel liegender ohmischer Widerstand r aufgefaßt werden kann. Dann wird der Operator

$$\frac{r \cdot [w(r + w) + \omega^2 L^2] + i\,\omega L\, r^2}{(r + w)^2 + \omega^2 L^2}$$

oder, sofern r groß gegen w und $\left(\frac{\omega L}{r}\right)^2$ klein gegen 1 ist,

$$\frac{w + \frac{\omega^2 L^2}{r} + i\,\omega L}{1 + \left(\frac{\omega L}{r}\right)^2} = w + \frac{\omega^2 L^2}{r} + i\,\omega L. \qquad 10)$$

Zur Erläuterung diene folgendes Zahlenbeispiel. Für $L = 1$ H., $w = 100$ Ohm, $n = 5000$ ($\omega^2 = 10^9$) wird bereits bei einem hohen Isolationswiderstand $r = 10^9$ Ohm $\omega^2 L^2/r = 1$ oder 1% von w; da $\left(\frac{\omega L}{r}\right)^2 = 10^{-9}$, so wird die Selbstinduktion praktisch nicht beeinflußt.

Diese Fehlerquelle ist um so gefährlicher, als man bei fertig gewickelten Spulen nicht in der Lage ist, den Isolationswiderstand experimentell zu bestimmen. Dies wird erst möglich[1]), wenn man zwei Drähte gleichzeitig, also bifilar wickelt, wie das bei den später näher beschriebenen Spulen der Fall ist. Bei diesen Spulen ergab sich der Isolationswiderstand, mit Gleichstrom gemessen, zwar von ausreichender Größe; als man jedoch die Messungen mit Wechselstrom wiederholte[2]), erhielt man wesentlich kleinere Werte für den Isolationswiderstand, die außerdem von der Frequenz abhingen. Die der Gl. 10) zugrunde liegende Annahme eines konstanten, von der Frequenz unabhängigen Isolationswiderstandes kann daher, worauf auch Campbell[3]) kürzlich hingewiesen hat, im allgemeinen nicht zutreffend sein.

Bei den vom Verf. neu hergestellten (unifilaren) Normalen ergaben sich bis zur Frequenz 5000 so geringe Widerstandserhöhungen, daß sich sichere Schlüsse über den Einfluß der Isolation nicht ziehen ließen. Jedoch zeigten andere Spulen, besonders auch die bifilar gewickelten, ein eigentümliches Verhalten, das mit Wahrscheinlichkeit durch Vorgänge im Isolationsmaterial der Spulen erst erklärt werden konnte, nachdem von R. Lindemann[4]) an den gleichen Normalen Widerstandsmessungen mit schnellen elektrischen Schwingungen ausgeführt waren. Lindemann wird durch seine Versuchsergebnisse zur folgenden Annahme geführt: 1. In dem Isolationsmaterial der Spule (Seide, Paraffin, Papier), das ja das Dielektrikum der Spulenkapazität bildet, finden wie in den meisten Kondensatoren dielektrische Verluste statt. 2. Die Verluste wachsen proportional mit der Frequenz, ein Gesetz, das von Monasch[5]) und Humann[6]) bei Messungen an Kabeln mit niedrigen Frequenzen und vom Verf.[7]) bei verschiedenen Kondensatoren bis zu Frequenzen von 4000 gefunden wurde.

Zur Deutung der experimentellen Ergebnisse werden wir später die gleiche Annahme heranziehen, die ihren einfachsten analytischen Ausdruck in der Beziehung

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\omega c r} = \text{konst.} = A \qquad 11)$$

findet, wo c die Spulenkapazität im Sinne der Gl. 4), r einen der Spule parallel liegend gedachten, mit der Frequenz veränderlichen Widerstand und φ die Phasenabweichung bedeutet, d. h. denjenigen Winkel, um welchen die ideale Phasenverschiebung von 90° zwischen Strom und Spannung für die Kapazität c verkleinert ist. Dann geht Gl. 10) zusammen mit Gl. 4) in die folgende über:

$$\frac{w + \omega^3 L^2 c A}{(1 - \omega^2 L c)^2} + i \omega \frac{L}{1 - \omega^2 L c}. \qquad 12)$$

Den Wert von L beeinflussen die dielektrischen Verluste praktisch nicht.

---

[1]) Vgl. Orlich, *Elektrotechn. Zeitschr.* **24.** *S. 502. 1903.*

[2]) Da die beiden Wicklungen beträchtliche Kapazität gegen einander haben, so konnten diese Messungen nur in der Wechselstrombrücke ausgeführt werden durch Vergleich mit einem Luftkondensator mit vorgeschaltetem regulierbarem Widerstand.

[3]) Albert Campbell und Eckersley (*Nat. Phys. Lab.*), *The Electrician* **64.** *S. 351. 1909.*

[4]) R. Lindemann, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **22.** *S. 572. 1910.*

[5]) Monasch, Dissertation, Techn. Hochschule Danzig 1906.

[6]) Humann, *Elektr. Bahnen u. Betriebe* **4.** *S. 457. 1906.*

[7]) nach bisher nicht veröffentlichten Versuchen.

6. Fehlerquellen.

a) Selbstinduktion der Widerstände und gegenseitige Induktion zwischen verschiedenen Brückenzweigen. Die Widerstände w_1', w_3, w_4 (Fig. 1) sind bei Ableitung der Gl. 1) u. 2) als selbstinduktionsfrei vorausgesetzt. Praktisch lassen sich solche Widerstände nicht herstellen. Die Selbstinduktionen bifilar gewickelter Rollen von gebräuchlichen Rheostaten sind sogar recht beträchtlich, wie folgende Zahlen[1]) für einen Kasten der Firma O. Wolff zeigen:

Widerstand	Selbstinduktion
10 Ohm	1030 *cm*
1 „	430 „
0,1 „	138 „ .

Solche Widerstände sind also bei Reihenschaltung mit einer kleinen Selbstinduktion wenig geeignet für genaue Messungen. Noch unzweckmäßiger ist ihre Verwendung in den Zweigen w_3 und w_4. Auf die beträchtlichen Fehler, die schon durch geringe Selbstinduktionen L_3, L_4 in w_3, w_4 bei hoher Wechselstromfrequenz entstehen, ist bereits in der eben zitierten Arbeit[1]) aufmerksam gemacht. In etwas allgemeinerer Form als dort, nämlich unter Berücksichtigung von gegenseitiger Induktion zwischen den Zweigen 1 und 3 bezw. 2 und 4 (Koeffizienten L_{13} und L_{24}), erhält man folgende Nullbedingungen an Stelle der Gl. 1) u. 2):

$$\frac{w_1 + w_1'}{w_2} = \frac{w_3}{w_4} + \frac{\omega^2}{w_2 w_4}\left[L_1 (L_4 \pm L_{24}) - L_2 (L_3 \pm L_{13})\right] \qquad 13)$$

$$= \frac{w_3}{w_4} + f_I ,$$

$$\frac{L_1 \pm L_{13}}{L_2 \pm L_{24}} = \frac{w_3}{w_4} - \frac{\left[(w_1 + w_1')(L_4 \pm L_{24}) - w_2 (L_3 \pm L_{13})\right]}{w_4 (L_2 \pm L_{24})} \qquad 14)$$

$$= \frac{w_3}{w_4} - f_{II} ,$$

wobei in f_I L_{13} bezw. L_{24} gegenüber L_1 bezw. L_2 vernachlässigt ist. Die Diskussion der Gl. 13) u. 14) ergibt, zunächst für den Fall $L_{13} = L_{24} = 0$, das folgende, *a. a. O.* auch experimentell bestätigte Resultat: Die Korrektion f_{II} ist auch bei kleinen Selbstinduktionen L_1, L_2 praktisch in der Regel Null, die Korrektion f_I aber kann bei hohem ω viele Prozente von w_3/w_4 ausmachen, selbst wenn L_3 und L_4 z. B. 100000-mal kleiner als die zu vergleichenden Selbstinduktionen L_1, L_2 sind. Nur in einem Falle wird f_I sowohl wie f_{II} zu Null, nämlich wenn (außer $L_{13} = L_{24} = 0$) die Bedingung

$$L_3 / L_4 = w_3 / w_4 \qquad 15)$$

erfüllt ist; sie gilt jedoch meist nur, falls die Zweige 3 und 4 elektrisch und geometrisch einander gleich sind. Dazu kommt, daß in der in Fig. 1 schematisch gezeichneten Brückenform, die praktisch auch meist nach diesem Schema angeordnet wird[2]), die Selbstinduktionen der Zweige 3 und 4 nicht eindeutig definiert sind, insbesondere, wenn sie, wie üblich, einen längeren Schleifdraht enthalten. Selbstinduktionskoeffizienten haben physikalischen Sinn nur für geschlossene Leiterkreise, Stromschleifen. In Fig. 1 können die Zweige 3 und 4 verschiedenen solchen Schleifen zugeordnet werden; es muß also notwendig eine induktive Kopplung zwischen sämt-

---

[1]) Giebe, *Ann. d. Physik* **24.** *S. 941. 1907.*

[2]) Nur bei der Messung sehr kleiner Selbstinduktionen sind auch andere Brückenformen benutzt, z. B. von Prerauer und M. Wien, *Wied. Ann.* **53.** *S. 784 u. 928. 1894.* ferner Dolezalek, *diese Zeitschr.* **23.** *S. 240. 1903.*

lichen Zweigen bestehen. Nun zeigt Gl. 13), daß die Koeffizienten L_{13}, L_{24} der gegenseitigen Induktion (eine analoge Gleichung erhält man auch für gegenseitige Induktion L_{14} und L_{23}) in der Korrektion f_I die gleiche Rolle spielen wie die Selbstinduktionen L_3 und L_4. Das oben über den Einfluß dieser Gesagte gilt daher auch für jene, wovon man sich experimentell leicht überzeugen konnte[1]). Die durch gegenseitige Induktion hervorgerufenen Fehler können sogar in einer gleicharmigen Brücke, für welche die Gl. 15) erfüllt ist, bestehen bleiben, wenn L_{24} und L_{13} in f_I [Gl. 13)] mit entgegengesetztem Vorzeichen einzusetzen sind, in welchem Falle auch der Fehler für das Verhältnis L_1/L_2 besonders bei kleinen Selbstinduktionen groß wird, wie die rechte Seite von Gl. 14) zeigt.

Man vermeidet die geschilderte Fehlerquelle, wenn man statt der „offenen" Brücke (Fig. 1) die schon früher beschriebene „geschlossene" Bifilarbrücke (Fig. 2) verwendet. Bei dieser sind die 4 Eckpunkte A, B, C, D so nahe als möglich beieinander angeordnet. Die Widerstände w_1', w_3, w_4 bestehen aus je zwei langen mit geringem Abstand parallel zueinander ausgespannten blanken Manganindrähten, die durch verstellbare Klemmen K_3, K_4 bezw. durch einen Gleitkontakt K_1 verbunden werden. Zu den Spulen führen etwa 1 *m* lange bifilare Zuleitungen. Der Schleifdraht in der Mitte zwischen w_3 und w_4 ist nur etwa 2 *cm* lang. Die Bifilardrähte w_3, w_4 haben gleichen Durchmesser und erhalten durch geeignet geformte Hartgummistücke den gleichen, überall konstanten Abstand, sodaß bei beliebigem Brückenverhältnis die Gl. 15) nahezu erfüllt ist. Ferner werden Hauptstrom- und Galvanometer-Zuleitungen bis unmittelbar an die Brücke bifilar geführt (senkrecht zur Ebene der Zeichnung nach oben und nach unten), wodurch gegenseitige Induktion zwischen beiden vermieden ist. Es bleibt nur die Möglichkeit gegenseitiger Induktion L_{12} zwischen beiden Spulen übrig. Die Nullbedingungen sind in diesem Falle außer Gl. 1)

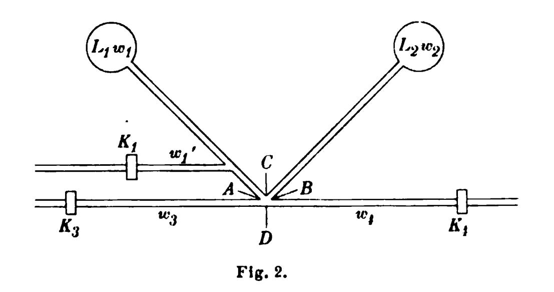


Fig. 2.

$$\frac{L_1 \pm L_{12}}{L_2 \pm L_{12}} = \frac{w_3}{w_4}. \qquad 16)$$

Gegenseitige Induktion L_{12} ist also ohne Einfluß, wenn L_1 genau gleich L_2 ist. So konnte beim Vergleich zweier Spulen von 0,1 H., die sich um $^1/_{10000}$ ihres Wertes voneinander unterschieden, nur eine Änderung von wenigen Hunderttausendsteln des Verhältnisses w_3/w_4 beobachtet werden, wenn man die Spulen aufeinander legte, also so stark als möglich koppelte. Bei Messungen im Verhältnis 1 : 10 hingegen geht L_{12} nahe mit dem vollen prozentischen Betrag der kleineren Selbstinduktion in die Messung ein. Bei einem Spulenabstand von 1,5 *m* betrug jedoch in diesem Falle die Änderung von w_3/w_4 nicht mehr als $^1/_{100000}$, wenn die Zuleitungen zu einer Spule kommutiert oder die Spulenebene um 180° gedreht wurde. Bei den endgültigen Messungen war der Spulenabstand 2 bis 2,3 *m*.

b) Kapazität der Meßanordnung gegen Erde. Wir haben bisher stillschweigend die Voraussetzung gemacht, daß die elektrischen Ströme, außer in den Spulen selbst (Abschn. 3), überall quasistationär sind. Diese Voraussetzung trifft bei höheren

[1]) Man kann diese Umstände zur Messung sehr kleiner gegenseitiger Induktionen benutzen in gleicher Weise, wie es vom Verf. *a. a. O.* für sehr kleine Selbstinduktionen ausgeführt ist.

Frequenzen nicht streng zu. Als Folge davon treten so auffällige, im einzelnen nicht immer leicht zu erklärende Erscheinungen und so beträchtliche, alle bisher besprochenen weit übersteigende Fehler auf, daß es gerechtfertigt erscheint, etwas näher auf diese Fehlerquelle einzugehen, die nicht allein bei Brückenmessungen jeder Art, z. B. Kapazitätsvergleichungen u. s. w., sondern auch bei vielen anderen Wechselstrommessungen berücksichtigt werden muß.

Auf jedes Leiterelement der Brückenschaltung muß offenbar, da ihm eine bestimmte Wechselspannung erteilt wird, dauernd eine bestimmte Elektrizitätsmenge wechselnden Vorzeichens befördert werden. Es müssen also dauernd Ladeströme vorhanden sein, deren Intensität proportional mit der Frequenz wächst. Man kann demnach von einer gewissen Kapazität eines jeden Leiterelementes sprechen, deren Größe nicht allein von seiner relativen Lage zu benachbarten Leitern, sondern auch von seiner Lage im Raume relativ zu den Wänden des Beobachtungszimmers, d. i. zur Erde, und von der Spannungsverteilung im gesamten Leitungsnetz abhängt. Die Kapazitäten einzelner Teile der Meßanordnung (der Widerstandskästen, der Maschine u. s. w.) gegen Erde, „Erdkapazitäten", sind die hauptsächliche Ursache der nicht mehr quasistationären Strömung; eine geringere Rolle spielen die gegenseitigen Kapazitäten zwischen verschiedenen Teilen der Schaltung selbst.

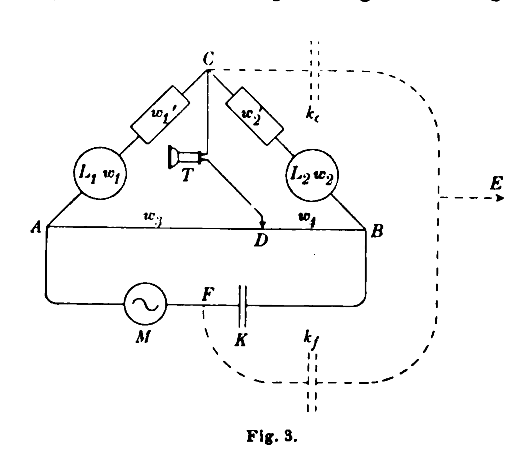


Fig. 3.

Das folgende experimentelle Beispiel mag zeigen, wie beträchtliche Fehler beim Vergleich zweier Selbstinduktionen durch solche Erdkapazitäten entstehen können. Die benutzte Schaltung (Fig. 3) unterscheidet sich, wenn wir uns die gestrichelt eingezeichneten Linien zunächst wegdenken, von der Fig. 1 nur dadurch, daß Galvanometer und Hauptstromzweig vertauscht sind. Die Zweige 1 und 2 enthielten hautwirkungsfreie Normalspulen $L_1 = 0{,}1$ H., $w_1 = 36$ Ohm, $L_2 = 0{,}01$ H., $w_2 = 5{,}2$ Ohm sowie regulierbare Kastenwiderstände w_1', w_2'; w_3 und w_4 bestanden aus Teilen eines 1 *m* langen Schleifdrahtes von 3,85 Ohm, zu w_3 war ein bifilar gewickelter Widerstand vom siebenfachen Betrag des Schleifdrahtwiderstandes vorgeschaltet, sodaß also beim Verhältnis 10 : 1 $w_3 = 28$ Ohm, $w_4 = 2{,}8$ Ohm wurde. In dieser Brücke, wie sie in ähnlicher Form häufig gebraucht wird, wurden Messungen bei verschiedenen Frequenzen *n* ausgeführt, wobei der im Hauptkreis zur Abstimmung auf Resonanz eingeschaltete Kondensator *K* zunächst, wie in Fig. 3 gezeichnet, am Eckpunkt *B* der Brücke lag und dann jedesmal durch einen Umschalter an den Eckpunkt *A* der Brücke verlegt wurde. Die Resultate sind in Tab. I zusammengestellt.

Tabelle I.

Frequenz n	K Mikrofarad	K an A			K an B		
		w_3/w_4	w_1' Ohm	w_2' Ohm	w_3/w_4	w_1' Ohm	w_2' Ohm
2050	0,130	9,98	11,0	0	10,02	30,5	0
3290	0,055	9,97	0	3,5	10,08	87	0
4630	0,025	9,88	0	20,5	10,22	280	0

Das auffälligste Ergebnis ist, daß sich die Nulleinstellung für dieselbe Frequenz beim Kommutieren der Hauptstromleitung ändert, d. h. abhängig ist von der Lage des Kondensators K, also von Schaltungsänderungen im Hauptstromkreis, die auf den ersten Blick völlig belanglos erscheinen. Da die Spulen fast keine Hautwirkung[1]) zeigen, so müßte, wenn wir hier von dem geringen Einfluß der Spulenkapazität absehen, die einfache Gleichstrombeziehung $(w_1 + w_1')/w_2 = w_3/w_4$ für jede Frequenz gültig bleiben, also nach den angegebenen Daten $w_1' = 16$ Ohm sein. Diese Bedingung ist auch nicht annähernd erfüllt. In zwei Fällen mußte sogar, um das Telephon zum Schweigen zu bringen, statt zur Spule L_1 ein Widerstand w_2' zu L_2 hinzugeschaltet werden. Die Nulleinstellung ist außerordentlich stark abhängig von der Frequenz. Annähernd richtig kommt das Verhältnis $L_1/L_2 = w_3/w_4$ heraus; immerhin betragen auch hier die Differenzen mehrere Prozent und sind nicht allein auf die Wirkung der Spulenkapazität zurückzuführen.

Diese Ergebnisse sind vollständig durch Kapazität der Meßanordnung gegen Erde zu erklären. Man beobachtete bei Ausführung der Messungen unmittelbar eine Veränderung der Nulleinstellung bei geringen absichtlichen oder unabsichtlichen Änderungen dieser Erdkapazitäten, wenn z. B. der gut isolierte Beobachter irgendeinen Punkt der Schaltung berührte oder die Hand auch nur in die Nähe der Kästen w_1', w_2' brachte oder seine Lage zum Hörtelephon änderte. Vergleichbare Einstellungen für verschiedene Frequenzen erhielt man daher erst, als man das Telephon nicht direkt mit der Hand faßte und an das Ohr brachte, sondern mit einem an das Telephon angesetzten Höhrrohr beobachtete bei möglichst unveränderlicher Stellung des Beobachters. Um unsere Erklärungsweise rechnerisch zu begründen, denken wir uns, ebenso wie bei der Spulenkapazität, die tatsächlich verteilte Erdkapazität an bestimmten Punkten der Schaltung durch Kondensatoren k_f und k_c (Fig. 3) konzentriert. Welche Punkte man dazu auswählt, ist zunächst willkürlich. Eine nähere Betrachtung führt jedoch zu dem Resultat, daß Erdkapazitäten an den Punkten C und F der Schaltung (es sind dies Stellen hoher Teilspannungen) die Nulleinstellung besonders stark beeinflussen. Die Rechnung ergibt für den Fall, daß K an B liegt, folgende Nullbedingungen, wobei $k = \frac{k_f \cdot k_c}{k_f + k_c}$ gesetzt ist:

$$w_1 + w_1')\left(1 + \frac{k}{K}\right) = \frac{w_2\, w_3}{w_4} - \frac{k}{K} \frac{[(w_1 + w_1')\, w_2 - \omega^2 L_1 L_2]}{w_4} + \omega^2 k\, [L_1 w_2 + L_2 (w_1 + w_1')] \qquad 17)$$

$$L_1 \left(1 + \frac{k}{K}\right) = \frac{L_2\, w_3}{w_4} - k\, [(w_1 + w_1')\, w_2 - \omega^2 L_1 L_2] - \frac{k}{K} \frac{[L_1 w_2 + L_2 (w_1 + w_1')]}{w_4}. \qquad 18)$$

Für den Fall: Kondensator K an A haben die Nullbedingungen eine ähnliche Form, aber mit umgekehrten Vorzeichen der Korrektionsglieder[2]). Eine zahlenmäßige Überschlagsrechnung für das Beispiel der Tab. I zeigt, daß in Gl. 17) außer dem Glied $f = \frac{k}{K} \frac{\omega^2 L_1 L_2}{w_4}$ alle übrigen in erster Annäherung zu vernachlässigen sind. Da der Wert des zur Resonanzabstimmung dienenden Kondensators K naturgemäß, wie auch aus der 1. und 2. Spalte der Tabelle zu ersehen, nahe umgekehrt proportional dem Quadrat der Frequenz ist, so wird f proportional der vierten Potenz der Frequenz n

[1]) Dies konnte natürlich erst nach Beseitigung aller Fehlerquellen nachgewiesen werden.

[2]) Man kann daher durch Kommutieren und Mittelnehmen die gröbsten Fehler eliminieren. Dies Verfahren ist jedoch nicht zweckmäßig, weil die Korrektionsglieder häufig sehr groß sind, und führt auch nicht völlig zum Ziel, weil nicht alle Korrektionen beim Kommutieren herausfallen [vgl. z. B. Gl. 19)].

und somit, wenn n hoch, auch bei kleiner Erdkapazität k sehr groß. Welcher Betrag für k anzunehmen ist, um die Beobachtungen zu erklären, läßt sich mit Gl. 17) leicht berechnen, wobei, wenn überhaupt unsere Erklärungsweise richtig ist, bei allen Frequenzen und für beide Schaltungen, K an A und K an B, k gleich groß herauskommen muß. Für diese Rechnung wurde statt Gl. 17) die folgende Näherungsformel benutzt:

$$w_1 + w_1' = \frac{w_2 w_3}{w_4} + \frac{k}{K} \frac{\omega^2 L_1 L_2}{w_4} + \frac{\omega^2 L_1}{w_4} \left(L_4 - \frac{L_2}{L_1} L_3 \right). \qquad 19)$$

Das letzte Glied der rechten Seite ist gemäß Abschn. 3, Gl. 13) hinzuzufügen. $L_4 - (L_2/L_1)\, L_3$ wurde durch einen besonderen Versuch zu $830 \cdot 10^{-9}$ Henry ermittelt. Die Resultate der Rechnung enthält die Tab. II.

Tabelle II.

n	K an A	K an B
2050	$k = 21{,}4 \cdot 10^{-12}$ Farad	$k = 20{,}2 \cdot 10^{-12}$ Farad
3290	22,7 „	20,4 „
4630	20,5 „	19,3 „

k ergibt sich in der Tat unabhängig von der Frequenz für beide Schaltungen gleich groß zu etwa $21 \cdot 10^{-12}$ F. (19 *cm* elektrostat. Einh.). Diese außerordentlich geringe Kapazität zwischen den Punkten F und C der Schaltung Fig. 3 genügt also, die auffälligen Resultate der Widerstandsmessung in Tab. I zu erklären. Auch daß die Selbstinduktionsmessung in wesentlich geringerem Maße durch solche Erdkapazitäten gefälscht wird, ergibt sich zahlenmäßig aus Gl. 18). Zur weiteren Stütze unserer Erklärungsweise diente ein anderer Versuch, bei welchem die Erdkapazität k_c in Fig. 3 durch Erdung unendlich groß gemacht wurde. Man erhielt, wie nach dem vorhergehenden zu erwarten, noch wesentlich größere Differenzen bei verschiedenen Frequenzen, wie die folgenden Resultate zeigen.

Tabelle III.
C in Fig. 3 geerdet.

n	K an A		K an B	
	$w_3 : w_4$	w_2'	$w_3 : w_4$	w_1'
2050	9,84	7,4	10,25	116
3290	8,82	61	12,00	744
4630	5,64	330	Nulleinstellung unmöglich	(ca. 4000)

Bemerkenswert ist, daß hier auch die Selbstinduktionsmessung erheblich gefälscht ist. Bei $n = 4630$ war im Falle K an B eine Nulleinstellung unmöglich, ein Resultat, das auch theoretisch aus den Gl. 17) u. 18) abzuleiten ist. Aus Tab. III findet man durch eine ähnliche Rechnung wie vorher für jede Frequenz nahezu den gleichen Wert der Kapazität $k_f = 200 \cdot 10^{-12}$ Farad. Eine gleiche Versuchsreihe unter Erdung von F (Fig. 3) ergab $k_c = 53 \cdot 10^{-12}$ Farad. $k_f \cdot k_c / (k_f + k_c)$ ist nicht gleich k (Tab. II), wie man zunächst erwartet. Es beruht dies darauf, daß die Beträge der Ersatzkapazitäten k_f, k_c notwendig von der Spannungsverteilung abhängen, die in den drei in Rede stehenden Fällen durchaus verschieden ist.

Daß die berechneten Kapazitäten k_f, k_c der Größenordnung nach der Wirklichkeit entsprechen, konnte auch durch andere, direkte Messungen bestätigt werden.

So wurde die Erdkapazität der benutzten Widerstandskästen w_1', w_2' nach Maxwells[1]) absoluter Methode mit rotierendem Unterbrecher zu 25 bezw. $20 \cdot 10^{-12}$ Farad bestimmt[2]). Jede der Spulen hatte $7 \cdot 10^{-12}$ F., das Telephon mit Zuleitungen $18 \cdot 10^{-12}$ F. Erdkapazität.

Die Brücke Fig. 3 stellt eine abnorm kapazitätsempfindliche und deshalb selbst für wenig genaue Messungen unbrauchbare Schaltung dar, sofern es sich um Messung der Widerstände von Induktionsspulen handelt. Die Fehler werden bei kleinen Selbstinduktionen wesentlich geringer, ebenso in symmetrischer Brücke, wenn man statt eines Kondensators im Hauptstromkreis zwei symmetrisch verteilte verwendet. Völlige Symmetrie, die sich auch auf die Wicklungen der Maschine, die Zuleitungen, überhaupt sämtliche Erdkapazitäten erstrecken muß, läßt sich praktisch kaum erreichen und wird überdies durch die Nähe des Beobachters gestört. Ebensowenig ist es möglich, in der Schaltung Fig. 3 alle Erdkapazitäten vernachlässigbar klein zu machen.

Experimentell und theoretisch hat sich nun ergeben, daß die fraglichen Fehler auch in unsymmetrischer Brücke viel kleiner werden, wenn man in Fig. 3 Hauptstrom- und Galvanometerzweig vertauscht, also die Schaltung der Fig. 1 anwendet. Liegen in diesem Falle z. B. an A und an der Verbindung zwischen K und M Erdkapazitäten, die wir uns ebenso wie vorher durch einen Kondensator k ersetzt denken, so werden die Nullbedingungen

$$w_1 \left(1 + \frac{k}{K} \frac{w_3 + w_4}{w_4}\right) = \frac{w_2 w_3}{w_4} + \omega^2 w_3 L_1 k \qquad 20)$$

$$L_1 \left(1 + \frac{k}{K} \frac{w_3 + w_4}{w_4}\right) = \frac{L_2 w_3}{w_4} - w_1 w_3 k. \qquad 21)$$

Der Vergleich dieser Formeln mit den Gl. 17) u. 18) zeigt, daß in ersteren das von der 4. Potenz der Frequenz abhängige, wesentlichste Korrektionsglied fortfällt. Die Nulleinstellung der Brücke ändert sich also, wenn man durch die genannte Vertauschung von der Schaltung der Fig. 3 zu der Schaltung von Fig. 1 übergeht. Dies scheint im Widerspruch zu stehen mit der bekannten Regel, nach welcher man in der Wheatstoneschen Brücke Galvanometer und Stromquelle vertauschen darf, ohne die Nulleinstellung zu beeinflußen. Es ist jedoch zu beachten, daß in den Schaltungen der Fig. 1 und 3 zugleich mit der Maschine auch der Kondensator K vertauscht ist. Läßt man dagegen in Fig. 3 K am Platze und tauscht, jener Regel entsprechend, nur Maschine und Telephon gegen einander aus, so bleibt, wie leicht einzusehen, die Nulleinstellung ungeändert, und es gelten auch in diesem Falle die Gl. 17), 18) und nicht 20), 21). Natürlich erfüllt dann der Kondensator nicht den beabsichtigten Zweck. Die Schaltung der Fig. 1 ist übrigens auch aus einem anderen Grunde der Schaltung von Fig. 3 vorzuziehen, weil man in ersterer bei gleicher Leistung der Maschine eine viel höhere Stromstärke in den Spulen und damit größere Meßempfindlichkeit erhält.

7. Beschreibung der Meßanordnung.

Wir gehen nun zur Beschreibung der schließlich angewandten Meßanordnung über, in der die eben geschilderte Fehlerquelle unschädlich gemacht ist. Die Mittel, mit welchen dies erreicht wurde, sind folgende[3]):

[1]) Maxwell, Elektrizität und Magnetismus. Deutsch von Weinstein. I. Bd., Art. 326.

[2]) Die Apparate bildeten dabei als Ganzes die eine Belegung eines Kondensators, dessen andere Belegung die Erde darstellte.

[3]) Das früher im Tätigkeitsbericht der Reichsanstalt für das Jahr 1905 (*diese Zeitschr.* **26.** *S. 150. 1906*) angegebene Mittel, Einschaltung eines Transformators im Hauptstromkreis, ist für genaue Messungen nicht ausreichend.

1. Verwendung elektrostatischer Schirme zur eindeutigen Definition aller Kapazitäten. Die Schirme werden so an die Brücke angeschlossen, daß ihre Kapazitäten gegen Erde und gegen einander die Nulleinstellung nicht beeinflussen.

2. Herabsetzung der Kapazitäten aller nicht abgeschützten Teile der Brücke auf ein Minimum durch Benutzung der Bifilarbrücke (Fig. 2).

3. Erdung der Brücke im Punkte D (Fig. 1 u. 2). Die Erdung bei C ist weniger zweckmäßig, Erdung bei A oder B unzulässig.

Eine nähere theoretische Begründung der neuen Meßanordnung übergehen wir. Es mag nur hervorgehoben werden, daß alle noch möglichen Störungen durch Kapazitätswirkungen rechnerisch diskutiert und experimentell untersucht wurden,

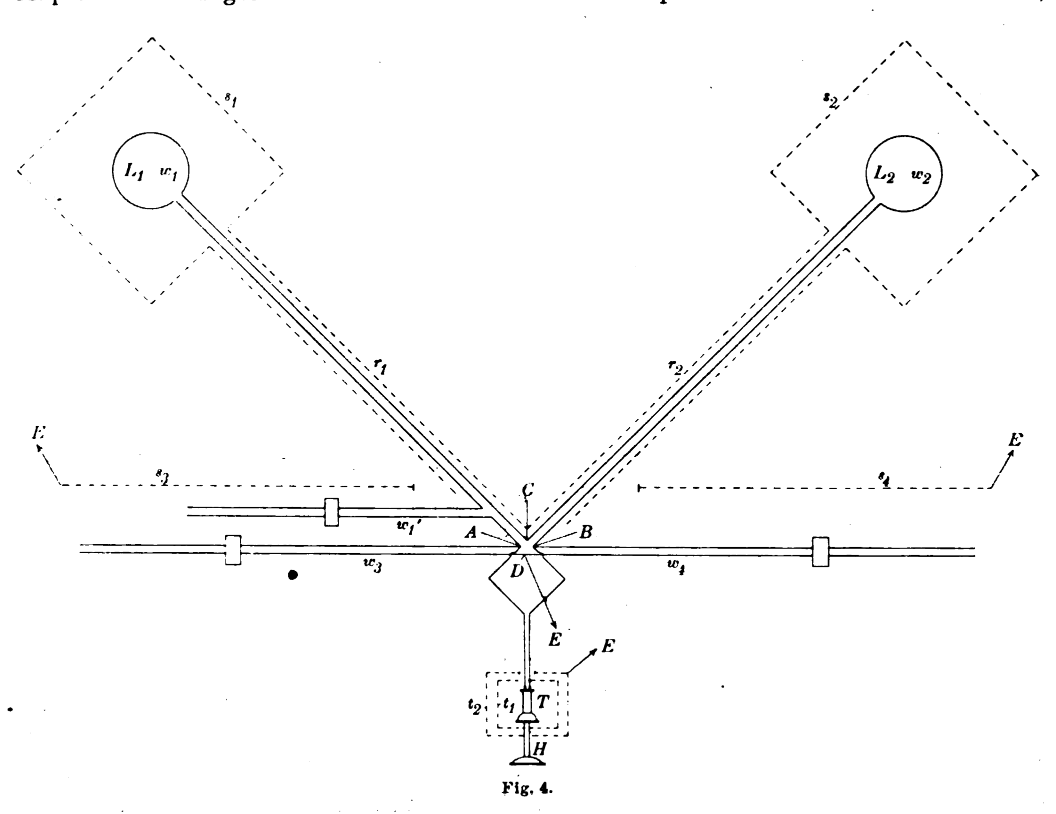


Fig. 4.

wobei sich ergab, daß die getroffenen Maßnahmen notwendig, aber auch hinreichend sind. Den Beweis hierfür erbringen auch die Meßresultate im II. Teil der Arbeit.

Die zur Definition der Selbstinduktion aller Zweige zweckmäßige Bifilarbrücke Fig. 2 erweist sich auch zur Beseitigung der Kapazitätsstörungen als besonders geeignet. Fig. 4 stellt das Schema der Anordnung mit allen Schirmen dar. Jede der Spulen ist auf einem Ständer in der Mitte eines Holzkastens Fig. 5 (s_1, s_2 in Fig. 4) von 50 *cm* Seitenlänge angeordnet. Die Innenwände des Kastens sind mit einer Belegung dünnen Stanniols versehen, das in der in Fig. 6 gezeichneten Weise mit einem Messer geritzt ist, um durch diese Unterteilung die Wirbelströme unschädlich zu machen. Die Belegungen jeder der sechs Wände sind so verbunden, daß kein geschlossener Leiterkreis entsteht. Durch Messung des Widerstandes zwischen a und b (Fig. 6) überzeugt man sich, daß die metallische Leitung in dem häufig fehlerhaften Stanniol nicht unterbrochen ist. Die 1 *m* langen Zuleitungen sind außerhalb der Kästen in Messingrohren r_1, r_2 bifilar ausgespannt, also ebenfalls abgeschützt. Auf

diese Weise ist die Kapazität der Spulen nebst Zuleitungen gegen die Umgebung eindeutig definiert. Rohre und Kästen sind mit dem Eckpunkt C der Brücke verbunden. An C und D liegt die Stromquelle; D ist geerdet. Das Telephon T erhält (einschl. Zuleitungen) zwei metallische Hüllen t_1, t_2; die eine Hülle t_1, die einfach durch Umwickeln des Telephons mit Stanniol hergestellt wird, ist mit A oder B verbunden; die zweite, geerdete Hülle t_2, die aus einem leichten, mit Stanniol austapezierten Kasten besteht, hat den Zweck, Kapazitätswirkungen zwischen t_1 und den Kästen s_1, s_2 und den Rohren r_1, r_2 sowie zwischen t_1 und dem Beobachter auszuschließen. In ungleicharmiger Brücke ist t_1 so anzuschließen, daß sich die Kapazität beider Hüllen gegen einander parallel zum kleineren der Widerstände w_3 und w_4 legt. Beobachtet wird durch ein Hörrohr H aus Glas.

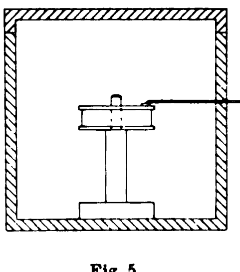


Fig. 5.

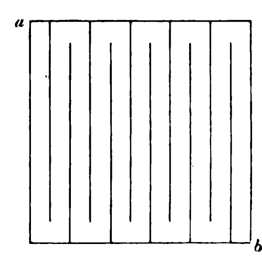


Fig. 6.

Ungeschützt bleiben die Zweige w_3 und w_4, sowie der Widerstand w_1'. Die Kapazität dünner Bifilardrähte ist sehr klein; ihr Einfluß kann jedoch nur vernachlässigt werden, wenn die Widerstände w_3 und w_4 klein sind; sie betrugen 5 und 50 Ohm bei Messungen im Verhältnis 1 : 10 und 10 bis 20 Ohm in gleicharmiger Brücke. Dagegen zeigte sich, daß die Kapazität von w_3, w_4, w_1' gegen die Kästen s_1, s_2 und die Rohre merklich ist, weil sie parallel zu den Selbstinduktionen liegt und somit die Eigenkapazität der Spulen zu groß erscheinen läßt. Um dies zu verhindern, sind zwischen den Kästen und jenen Widerständen große Schutzwände, mit Stanniol beklebte, geerdete Pappschirme s_3, s_4, aufgestellt. Dadurch werden die an sich schon großen Erdkapazitäten der Kästen noch beträchtlich vergrößert; dies ist jedoch belanglos, da ihre Kapazitäten der ganzen Anordnung zwischen C und D parallel geschaltet sind, also auf die Null-Einstellung der Brücke keinen Einfluß haben können. Die Lage des zur Resonanzabstimmung dienenden Kondensators im Hauptstromkreis ist gleichgültig. Die Schutzkästen s_1, s_2 und die Schirme s_3, s_4 können für kleinere Spulen, etwa unterhalb 10^{-2} Henry, bis zu Frequenzen von 5000 wegfallen, bei Messungen geringerer Genauigkeit, wegen der an und für sich schon sehr kleinen Kapazität der Bifilarbrücke, auch für größere Spulen. Die Erdung bei D ist stets notwendig.

Es muß auffällig erscheinen, daß bisher die beträchtlichen durch Erdkapazitäten möglichen Fehler, die nur durch besondere Anordnungen der beschriebenen Art ganz zu beseitigen sind, wenig beachtet sind, obwohl Selbstinduktions-Vergleichungen und Messungen über die Hautwirkung bei hoher Frequenz von verschiedenen Autoren ausgeführt sind. So finden sich z. B. in den diesbezüglichen Abhandlungen von M. Wien[1]) und Dolezalek[2]) keine Angaben über derartige Fehler. Bei den meisten dieser Arbeiten handelt es sich allerdings um die Messung ziemlich kleiner Selbstinduktionen in gleicharmiger Brücke, wobei, wie wir sahen, die fraglichen Fehler wenig hervortreten. Merkwürdigerweise findet sich auch in fast allen Abhandlungen und Lehrbüchern die oben als unzweckmäßig erkannte Schaltung Fig. 3 statt Fig. 1 angegeben.

[1]) *a. a. O.*
[2]) *a. a. O.*

Nur eine Arbeit ist dem Verf. bekannt geworden, nämlich die von G. A. Campbell[1]), in welcher eingehend auf den Einfluß der Erdkapazität bei Brückenmessungen mit hochfrequenten Wechselströmen und auf die Notwendigkeit der Abschützung hingewiesen wird. Campbell verwendet sehr viele Schirme, deren große und nicht in allen Fällen meßbare Kapazitäten allerdings beträchtliche Korrektionen bedingen, sodaß sich in seiner „*shielded balance*" wohl kaum genauere Messungen ausführen lassen.

Daß bei der Vergleichung sehr kleiner Kapazitäten in der Wheatstoneschen Brücke schon bei niedrigen Frequenzen (50 bis 100) Erdkapazitäten störend wirken, insbesondere wenn hohe Spannungen angewandt werden, hat Monasch[2]) gezeigt.

Charlottenburg, den 15. Dezember 1910. (Fortsetzung folgt.)

Internationaler Wert der elektromotorischen Kraft des Weston-Normalelements.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Nach den Beschlüssen der Internationalen Konferenz zu London im Jahre 1908 ist die elektromotorische Kraft des Weston-Elements zurückzuführen auf das durch die Quecksilbereinheit definierte Internationale Ohm und das durch die Niederschlagsmenge im Silbervoltameter definierte Internationale Ampere.

Im Auftrag des in London gewählten Internationalen Komitees wurden im Frühjahr 1910 zu Washington von Vertretern der in Amerika, Deutschland, England und Frankreich bestehenden Staatslaboratorien silbervoltametrische Messungen ausgeführt. Auf Grund dieser Messungen wird von dem Internationalen Komitee für die elektromotorische Kraft des mit normalem Merkurosulfat beschickten, nach den in London gegebenen Vorschriften zusammengesetzten Weston-Normalelements[3]) der Wert 1,0183 int. Volt bei 20° C. vom 1. Januar 1911 ab zur Annahme empfohlen.

Von diesem Zeitpunkt an wird der genannte Wert den Messungen in der Reichsanstalt zugrunde gelegt werden[4]).

E. Warburg.

---

[1]) G. A. Campbell, *Electr. World* **43**. *S. 647. 1904.*

[2]) *a. a. O.*

[3]) enthaltend einen Bodenkörper von festem Kadmiumsulfat ($CdSO_4$, $8/3\,H_2O$).

[4]) Bisher wurde in Deutschland als Wert für das Weston-Normalelement die Zahl 1,0186 Volt bei 20° C. benutzt. Die durch die Neufestsetzung herbeigeführte Änderung der Spannungseinheit beträgt aber nicht, wie man glauben könnte, 0,0003 Volt, sondern weniger. Dies rührt z. T. daher, daß das Merkurosulfat der neuen Elemente eine etwas geringere elektromotorische Kraft ergibt als dasjenige der bisherigen Spannungsnormale der Reichsanstalt. Für wissenschaftliche Messungen von hoher Genauigkeit dürfte es sich empfehlen, die dabei benutzten Normalelemente durch eine Nachprüfung bei der Reichsanstalt auf die neue Spannungseinheit beziehen zu lassen.

Bemerkungen zu der Mitteilung von H. Wild in Jena über „Neue Nivellierinstrumente".

Von
Adolf Fennel in Kassel.

In *dieser Zeitschr.* ***29.*** *S. 329.* ***1909*** hat Herr H. Wild über „Neue Nivellierinstrumente" der Firma C. Zeiss in Jena berichtet und dabei in der Anmerkung auf *S. 330* auf eine von mir herrührende Veröffentlichung im Jahrgang 1892 der Zeitschrift für Vermessungswesen hingewiesen.

Da in dem Schlußsatz des Wildschen Artikels weitere Mitteilungen über konstruktive Neuerungen an Nivellierinstrumenten in Aussicht gestellt wurden, so beabsichtigte ich, diese Mitteilungen abzuwarten, ehe ich zu den Ausführungen des Herrn Wild Stellung nahm. Weil aber nun nach Jahresfrist diese angekündigten Mitteilungen noch nicht erfolgt sind, so möchte ich nicht länger zögern, meiner abweichenden Ansicht an dieser Stelle Ausdruck zu geben.

Bei Erörterung der allgemeinen Gesichtspunkte für die Konstruktion seiner Nivellierinstrumente sagt Herr Wild: „Als Hauptanforderung stellte ich auf die Möglichkeit einer vollständigen und raschen Justierung von einem Standpunkte aus", und erwähnt dann in der Anmerkung auf *S. 330*, daß ein Instrument mit drehbarem Fernrohr und daran befestigter Reversionslibelle dieser Forderung am nächsten käme[1]).

Es heißt dann in dieser Anmerkung weiter: „Daß aber das Umschrauben der Libelle nicht unbedenklich ist, ist leicht einzusehen, und es geht dies auch aus einer Veröffentlichung von A. Fennel in der *Zeitschr. f. Vermess.* ***21.*** *S. 532.* ***1892*** hervor."

Hierauf ist zu erwidern, daß der einzige Satz meiner Abhandlung, aus dem auf das „nicht Unbedenkliche" des Umschraubens der Reversionslibelle geschlossen werden könnte, wörtlich lautet: „Bei der Prüfung II scheint die Libelle, obgleich sie mit einem Schutzglas umgeben war, durch die Berührungen beim Umschrauben ungünstig beeinflußt worden zu sein."

Hierbei ist aber doch nur von einem besonderen Falle die Rede, und es ist ungerechtfertigt, daraus den Schluß zu ziehen, daß im allgemeinen beim Umschrauben von Reversionslibellen eine ungünstige Beeinflussung eintreten müsse oder zu befürchten wäre. Ich muß deshalb dagegen Verwahrung einlegen, daß der oben zitierte, von mir vor 18 Jahren anläßlich der ersten Reversionslibellenprüfungen nach der Amslerschen Methode geschriebene Satz so gedeutet wird, als habe ich selbst an der Zweckmäßigkeit des Umschraubens der Reversionslibellen Zweifel gehegt.

Wenn ferner Herr Wild, nachdem er vom Umschrauben der Libelle gesprochen hat, in der Anmerkung *S. 330* fortfährt: „Diese Art der Justierung kann somit auch nicht als ganz einwandfrei gelten", und wenn er in der Mitte der *S. 330* sagt: „Durch das Abschrauben und Wiederanschrauben der Libelle geht aber die angenäherte Justierung, die doch sonst immer vorhanden sein muß, verloren; außerdem erschien mir diese Manipulation für Feldverhältnisse nicht geignet und der dazu nötige Zeitaufwand zu groß", so muß ich dazu bemerken, daß das Umschrauben der Libelle mit der „Justierung" bei meinem Instrumente gar nichts zu tun hat.

---

[1]) Es ist dies eine Konstruktion, die, nachdem Amslers Arbeiten in Vergessenheit geraten waren, von mir zuerst 1892 ausgeführt wurde, und die seitdem an vielen Hunderten meiner Instrumente zur Anwendung gekommen ist. Näheres hierüber findet sich in Adolf Fennel, Geodätische Instrumente. Hft. I: Nivellierinstrumente. Stuttgart, K. Wittwer 1910. *S. 21 u. flgde.*

Herr Wild hält hier die Bestimmung eines konstanten und meist verschwindend kleinen Achsfehlers der Reversionslibelle und die Justierung des Instruments nicht auseinander.

Bei den üblichen von mir angewendeten Reversionslibellen ist auf beiden Seiten der Libelle die Teilung unveränderlich eingeätzt. Es kann also hierbei nicht von einer „Justierung“ der Achsen der Libelle oder der Spielpunkte der Libellenblase die Rede sein, sondern man kann dabei nur prüfen, inwieweit der verlangte Parallelismus der Libellenachsen erreicht ist, bezw. wie groß die konstante Neigung der Achsen gegen einander ist.

Erfolgt diese Prüfung durch mehrere Beobachtungsreihen bei verschiedenen Temperaturen und allenfalls auch bei verschiedenen Barometerständen, ehe ein neues Instrument in Gebrauch genommen wird, und erweist sich der Libellenfehler so klein, daß man ihn vernachlässigen kann, so ist diese Angelegenheit für immer erledigt[1]).

Es handelt sich also beim Umschrauben der Libellen meiner Instrumente nicht, wie Herr Wild annimmt, um eine im Felde oft vorzunehmende Justierung, sondern um die einmalige Feststellung der Zuverlässigkeit.

Überdies ist die Technik des Libellenschleifens schon seit einer Reihe von Jahren so entwickelt, daß es jederzeit möglich ist, Reversionslibellen zu erhalten, die praktisch als „fehlerfrei“ anzusehen sind[2]).

Wenn Herr Wild auf *S. 342* in hervorgehobenem Druck von seiner neuen Konstruktion sagt: „Die Instrumente können von einem Standpunkt aus vollkommen justiert werden, und zwar ohne daß der Beobachter sich dabei auf irgendwelche vorhandene Justierung stützen muß“, so gilt dieser Satz ohne jede Einschränkung auch für die von mir schon seit etwa zwei Jahrzehnten hergestellten Instrumente.

Der grundsätzliche Unterschied zwischen Instrumenten mit festen Libellenskalen und den Wild-Zeissschen Instrumenten geht aus nachfolgenden Sätzen hervor.

Herr Wild sagt *S. 343*: „Beim vorliegenden Nivellierinstrument sind die beiden Achsen der Reversionslibelle bestimmt durch die Lage des verschiebbaren Prismensystems *E*. Verschiebt man das letztere, so wird der Spielpunkt verändert, und zwar für beide Seiten der Libelle um gleich viel.“

Herr Wild gibt dann zwei Arten der Justierung an und sagt in bezug auf die zweite: „In letzterem Fall ist das Resultat der Justierung eine Reversionslibelle mit zwei genau parallelen Achsen.“

Während also bei meinen Instrumenten Libellen angewandt werden, deren durch unveränderliche Skalen festgelegte Achsen von vornherein parallel sind, ist bei der Wildschen Konstruktion der Parallelismus der Achsen erst das Resultat einer durch mindestens vier Ablesungen zu erreichenden Justierung.

Diese Justierung bedarf aber einer öfteren Nachprüfung im Felde, da der Grad der erreichten Genauigkeit von der Geschicklichkeit des Justierenden und den zufälligen äußeren Umständen in hohem Grad abhängig ist und eine Störung durch Erschütterungen, Stöße, Lockerungen der Schrauben u. s. w. in sehr weiten Grenzen möglich ist.

Wenn man aber an einer Reversionslibelle erwiesenermaßen eine unveränderlich eingeätzte, praktisch völlig fehlerfreie Teilung und damit den unveränderlichen

---

[1]) Änderungen in der Lage der Achsen durch das Altern der Libelle würden sich nur innerhalb sehr enger Grenzen abspielen können und daher nicht in Betracht kommen.

[2]) Siehe Adolf Fennel, Geodätische Instrumente. Hft. I. *S. 28 u. 56.*

Parallelismus der Achsen leicht haben kann, dann kann es meines Erachtens nicht als ein Fortschritt angesehen werden, Instrumente zu bauen, bei denen der Parallelismus der Libellenachsen erst mit Hilfe von Justiereinrichtungen erreicht werden muß, die der ganzen Sachlage nach nicht im entferntesten die Konstanz und Sicherheit verbürgen können, wie eine unmittelbar auf der Libelle angebrachte feste Teilung.

Kassel, den 5. Dezember 1910.

Erwiderung auf vorstehende Bemerkungen.

Von

H. Wild in Jena.

Hr. A. Fennel hat vor 18 Jahren Untersuchungen über das Amslersche Nivellierinstrument mit Reversionslibelle angestellt und dabei in einem Falle gefunden, „daß die Libelle, obgleich sie mit einem Schutzglase umgeben war, durch die Berührungen beim Umschrauben ungünstig beeinflußt worden zu sein schien". Heute, nachdem mit meiner der Firma C. Zeiss durch das D.R.P. Nr. 224405 geschützten Konstruktion eine Kontrolle der Reversionslibelle in viel rascherer und vollkommen einwandfreier Weise ermöglicht ist, wird dieser von ihm selbst geschriebene Satz Hrn. Fennel unbequem. Hr. Fennel möchte nun diese Erscheinung „als besonderen Fall" aufgefaßt wissen. Dieser Ansicht kann ich mich nicht anschließen. Denn wenn man bedenkt, daß bei den genannten Untersuchungen das Umschrauben der Libelle doch ohne Zweifel durch geschickte und mit ähnlichen Arbeiten vertraute Fachleute erfolgt ist, und ferner auch die immer vorhandenen Spannungen eine Rolle spielen, so muß angenommen werden, daß die ungünstige Beeinflussung der Libelle nicht mehr eine vereinzelte Erscheinung ist, sobald das Umschrauben durch die in der Regel weniger geübte Hand des späteren Besitzers des Instrumentes vorgenommen wird. Zu der Gefahr der Veränderung der Libellenachsen kommt nun noch der große Zeitaufwand und die Unbequemlichkeit, die das Umschrauben verursacht. Außerdem geht die vorher vorhanden gewesene angenäherte Justierung verloren. Alle diese Mängel sind bei meiner neuen Konstruktion, bei der einfach das Okular umgesteckt wird, in vollkommener Weise beseitigt.

Auf die Bemerkung des Hrn. Fennel, daß das Umschrauben der Libelle mit der Justierung bei seinem Instrumente nichts zu tun hätte, brauche ich nicht weiter einzugehen, da sie auf einem offensichtlichen Irrtum beruht.

Hr. Fennel stellt nun im weiteren einige Behauptungen über Reversionslibellen mit festen Skalen und über den von mir angegebenen Ersatz dieser Skalen durch ein neues Prismensystem (D.R.P. Nr. 222754) auf. Den wichtigsten Punkt, d. i. die Änderung der gegenseitigen Lage der Libellenachsen mit der *Zeit*, erledigt Hr. Fennel durch die Fußnote 1 (*S. 22*) und hat uns damit um den interessantesten Teil seiner Bemerkungen gebracht. Gestützt auf die Erfahrungen, die in der Zeissschen Werkstätte über die Veränderlichkeit von Glaskörpern im allgemeinen gemacht worden sind, muß ich die Annahme des Hrn. Fennel entschieden als viel zu optimistisch bezeichnen. Ich möchte hier durchaus nicht erklären, daß es mit dem *nötigen Geldaufwande* nicht möglich sein sollte, genügend genaue Reversionslibellen herzustellen. Daß aber solche Libellen bei den verschiedensten äußeren Umständen und im Laufe der Zeit keine in Betracht fallenden Veränderungen erleiden, kann weder Hr. Fennel

noch irgend jemand verbürgen, und es bleibt eben nichts anderes übrig, als die Reversionslibellen von Zeit zu Zeit zu kontrollieren.

Was nun die Häufigkeit dieser Kontrolle bei den beiden hier in Frage stehenden Konstruktionen betrifft, so ist zu sagen, daß ein Unterschied nicht besteht. Hingegen wird man sich viel eher zu einer Kontrolle entschließen, wenn sie nur geringen Zeitaufwand erfordert, dabei aber volle Gewähr für die Zuverlässigkeit bietet, und in dieser Richtung liegen eben die sehr wesentlichen Vorteile meiner neuen Konstruktion, bei der es zudem nach eingetretener Veränderung jederzeit möglich ist, die beiden Libellenachsen wieder genau parallel zu stellen. Bei der gewöhnlichen Reversionslibelle mit festen Skalen kann eine Veränderung nur konstatiert, aber nicht beseitigt werden.

Den zweitletzten Satz seiner Bemerkungen hätte Hr. Fennel vielleicht nicht geschrieben, wenn er mit den neuen Nivellierinstrumenten der Firma C. Zeiss besser vertraut gewesen wäre; denn alles, was er dort über erreichbare Genauigkeit, Geschicklichkeit des Justierenden, zufällige äußere Umstände, Störungen durch Erschütterungen u. s. w. schreibt, ist durch die Wirklichkeit längst widerlegt. Die Prismen, die zur Beobachtung der Libelle dienen, sind derart fest gelagert, daß jede merkbare Veränderung vollkommen ausgeschlossen ist. Dabei ist über das „merkbare" zu sagen, daß es bei meiner Konstruktion bedeutend geringer ist als bei der Fennelschen, indem die Libelle mit Hilfe des Prismensystems viel genauer eingestellt werden kann als mittels der Teilung. Ferner kann ich noch beifügen, daß ich in vielen Fällen Gelegenheit hatte, die neuen Instrumente nach längerem Eisenbahntransport wieder zu kontrollieren, wobei sich eine außerordentliche Unveränderlichkeit der Justierung zeigte.

Im Schlußsatze äußert Hr. Fennel seine persönliche Ansicht, daß die neue Konstruktion keinen Fortschritt bedeute. Demgegenüber erlaube ich mir festzustellen, daß die neuen Nivellierinstrumente der Firma C. Zeiss von einer großen Zahl von Fachleuten, die Gelegenheit hatten, die Instrumente zu sehen oder zu gebrauchen, eine Beurteilung erfahren haben, die mit der Ansicht des Hrn. Fennel in keiner Weise übereinstimmt. Die Neuerungen haben eine so große Anerkennung gefunden, daß über deren Zweckmäßigkeit kein Zweifel mehr besteht.

Jena, den 28. Dezember 1910.

Referate.

Bestimmung der Schwerkraft auf dem Schwarzen Meere und an dessen Küste sowie neue Ausgleichung der Schwerkraftsmessungen auf dem Atlantischen, Indischen und Großen Ozean.

Von O. Hecker. *Veröffentl. d. Zentralbureaus d. intern. Erdmessg. Neue Folge Nr. 20. Berlin 1910.*

Das Werk zerfällt in drei Teile. Der erste enthält Schwerkraftsbestimmungen durch Pendelbeobachtungen, die in Odessa, Tiflis und Bukarest ausgeführt wurden, der zweite behandelt die mit Hilfe von Siedethermometern und Quecksilberbarometern angestellten Messungen auf dem Schwarzen Meere, und in dem dritten wird eine neue Ausgleichung der früheren auf dem Atlantischen[1]) sowie auf dem Indischen und Großen Ozean[2]) angestellten Beobachtungen mitgeteilt.

---

[1]) *Veröffentl. d. Kgl. Pr. Geodät. Instituts. Neue Folge. Nr. 11. Berlin 1903;* vgl. auch das Referat in *dieser Zeitschr.* **23.** *S. 282. 1903.*

[2]) *Veröffentl. d. Zentralbureaus d. intern. Erdmessg. Neue Folge. Nr. 16. Berlin 1908.*

Bezüglich des ersten Teiles sei nur erwähnt, daß der benutzte Pendelapparat im Gegensatz zu dem früher von Hecker verwendeten Dreipendelapparat die gleichzeitige Aufhängung und Beobachtung von vier Pendeln gestattet, wodurch die Messungen wesentlich erleichtert werden.

Die im dritten Teil vorgenommene Neuausgleichung der früheren Beobachtungen ist erfolgt, weil bei der ursprünglichen Ausgleichung die Eigenbewegung des Schiffes, auf deren Einfluß weiter unten bei Besprechung des zweiten Teiles eingegangen wird, nicht berücksichtigt worden war. Die sich ergebenden Korrektionen sind jedoch so geringfügig, daß alle in den früheren Veröffentlichungen von Hecker gezogenen Schlußfolgerungen gültig bleiben.

Der zweite Teil, der hier etwas ausführlicher besprochen werden soll, stellt im allgemeinen eine Ausdehnung der früheren Messungen auf ein neues Meeresgebiet dar, enthält jedoch in einigen Punkten auch prinzipiell Neues. Es wurden wie früher die Angaben von Siedethermometern mit denen von Quecksilberbarometern verglichen und daraus die Korrektion der Schwere abgeleitet.

Die benutzten sechs Siedethermometer sind bis auf ein Ersatzthermometer dieselben Einschlußthermometer aus Glas 59^{III}, die schon bei den früheren Untersuchungen verwendet worden waren. Sie wurden wieder jedes für sich in einem kleinen Fuessschen Siedeapparat erhitzt, der mit einer Spiritusflamme geheizt wurde. Die Spiritusbrenner wurden zusammen in einen mit Wasser gefüllten Blechkasten eingesetzt, um eine übermäßige Erhitzung derselben zu vermeiden, und alle Thermometer wurden gleichzeitig benutzt, wie dies schon bei den Beobachtungen auf dem Großen und Indischen Ozean der Fall gewesen war.

Die Übereinstimmung der verschiedenen Thermometer unter einander ist jedoch schlechter als auf den früheren Reisen. Selbst wenn man die Thermometer 1 und 4, die die größten und noch dazu sprungweise Änderungen aufweisen und daher von Hecker nicht berücksichtigt werden, ausschaltet, bleiben Differenzen bis zu 0,03° C. übrig. Hecker kommt zu der Auffassung, daß die Thermometer durch den andauernden Gebrauch auf den früheren Reisen verschlechtert sind. Wenn dies auch nicht ausgeschlossen erscheint, so könnte man doch vielleicht daran denken, daß beim Gebrauch der Siedethermometer auf See die anderen bei Siedethermometern in Betracht kommenden Fehlerquellen merklich werden, die nach den Angaben Heckers an und für sich keine Rolle spielen, nach anderweitigen Erfahrungen jedoch unter Umständen von sehr störendem Einfluß werden. Um sie zu vermeiden, könnte man erstens die kleinen Siedeapparate durch einen einzigen großen, zuverlässig konstruierten, eventuell mit Rückflußkühlung versehenen Siedeapparat ersetzen, wobei es sich empfehlen würde, mit einem kleinen, an einem Wassermanometer ablesbaren Überdruck zu arbeiten, um an der Konstanz desselben ein Kriterium für das andauernd gute Funktionieren des Apparates zu haben. Ferner könnte man die Thermometer mit größerem herausragenden Faden (etwa 2 *cm*) benutzen, um den Einfluß des Abdestillierens von Quecksilber möglichst einzuschränken. Hecker, der mit 1,3 *mm* langem herausragenden Faden arbeitet, schiebt zwar die Erscheinung, daß die Anzeige der Thermometer bei längerer Erhitzung (bei Hecker 45 Min.) allmählich sinkt, auf Erweiterung des Gefäßes. Da er für diese Depression eine Korrektion anbringt, wäre es im Grunde genommen auch gleichgültig, wodurch sie hervorgerufen wird. Indessen wird der Einfluß des abdestillierten Quecksilbers, der zweifellos vorhanden ist[1]), bei kleinem herausragenden Faden jedenfalls leichter *unregelmäfsig* verlaufen, als bei größerem herausragenden Faden. Außerdem ist bei Anwendung eines langen herausragenden Fadens die Reinigung der Thermometerröhre durch Abtrennen und Verschieben eines Fadens nur sehr selten nötig, was zum mindesten eine Erleichterung ist.

Die von Hecker benutzten Seebarometer sind dadurch charakterisiert, daß das Steigrohr des Quecksilbers eine kapillare Verengung besitzt, um die durch das Stampfen des Schiffes hervorgerufene Bewegung der Quecksilbersäule einzuschränken. Die Trägheit der

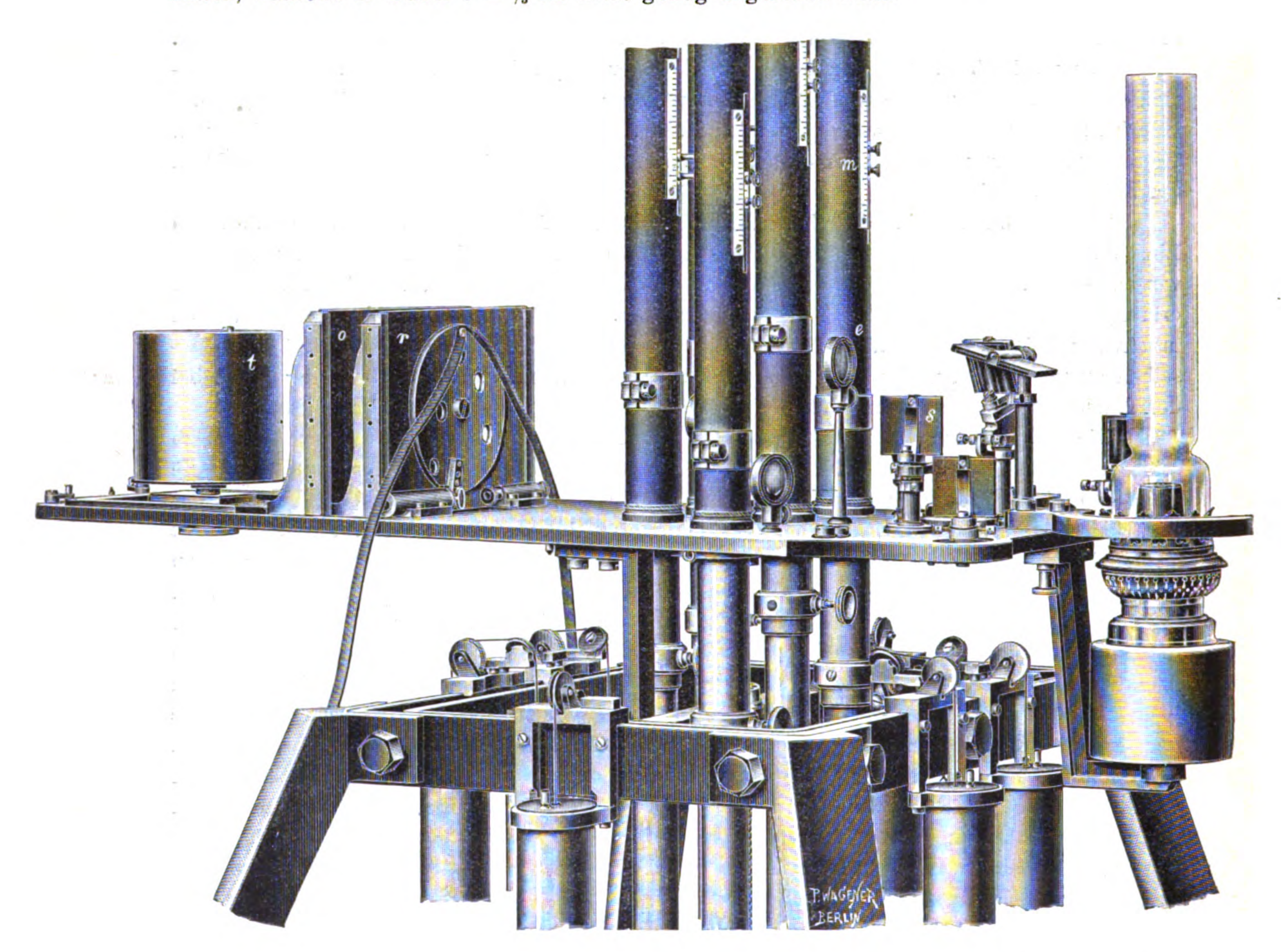
---

[1]) Vgl. z. B. H. Mohn, *Meteorolog. Zeitschr.* **25.** *S. 193. 1908*; Referat in *dieser Zeitschr.* **18.** *S. 250. 1908.*

Barometer darf jedoch andererseits auch nicht zu groß sein, damit sie Luftdruckschwankungen schnell genug folgen. Wird der Stand des Barometers künstlich erhöht oder erniedrigt, und bezeichnet L_0 den wahren Luftdruck, B_n den Barometerstand zu einer gewissen Zeit und B_{n+1} den Stand eine Minute danach, so kann man nach Hecker setzen

$$B_{n+1} - B_n = \varepsilon (L_0 - B_n).$$

Die Konstante ε muß nach den neuesten Erfahrungen Heckers den Wert 0,10 bis 0,15 erhalten, während er früher $\varepsilon = 1/3$ als klein genug angesehen hatte.



Die Anzeige der Barometer wurde photographisch registriert, wozu zwei Apparate in Anwendung kamen. Der eine, der schon bei den Schwerkraftbestimmungen auf dem Indischen und dem Großen Ozean angewendet wurde, ist in der Figur[1]) abgebildet. Er ist zur Aufnahme von fünf Barometern eingerichtet. Diese sind unter Vermittlung von Messingrohren, in denen sie durch Schrauben auf- und abwärts bewegt werden können, in eine Magnaliumplatte eingesetzt. Die Messingrohre enthalten Spalte zur Beobachtung des Barometerstandes. Das Licht der Lampe fällt zunächst auf fünf Spiegel *s*, die das Licht auf die zugehörigen Beleuchtungslinsen *e* werfen. Diese beleuchten die Spalte der Barometer. An der gegenüberliegenden Seite sind auf einer Platte *o* fünf photographische Objektive angebracht, von denen jedes ein Bild des Spaltes des zugehörigen Barometers auf die mit einem Film bespannte Registriertrommel *t* entwirft. Das Bild wird einerseits begrenzt durch eine feste Blende,

[1]) Von Hrn. Geheimrat Prof. Dr. Helmert freundlichst zur Verfügung gestellt.

andererseits durch die Oberfläche des Quecksilbers im Barometer und ist durchzogen von den Linien der Teilung, die sich auf den Glasrohren der Barometer befindet. Um auf dem rotierenden Film markieren zu können, zu welchen Zeitpunkten die Beobachtungen an den Siedethermometern stattgefunden haben, ist zwischen die Objektive und die Barometer eine Rotationsblende r gesetzt, mittels deren die Öffnungen der Objektive für einen Moment verschlossen werden können. Die Magnaliumplatte mit Barometern und Registriervorrichtung ist kardanisch aufgehängt und kann gegenüber dem Drehpunkt des kardanischen Gelenkes gehoben und gesenkt werden, wodurch die Schwingungsdauer des Systems einreguliert werden kann. Diese darf wegen der Reibung im Gelenk nicht zu groß gewählt werden. Zur Dämpfung der Schwingungen dienen Bleizylinder, die sich in mit Öl gefüllten, einseitig geschlossenen Hohlzylindern bewegen und mit dem schwingenden System durch Schnüre, die über Rollen laufen, verbunden sind.

Der zweite Barometerapparat ist ähnlich dem auf der ersten Reise benutzten konstruiert und besteht im wesentlichen aus einem länglichen Kasten, an dessen Schmalseiten je vier Barometer angebracht sind. Das Spaltbild eines jeden der Barometer wird durch entsprechend angeordnete Objektive auf einen Film geworfen, der durch ein Uhrwerk langsam durch die Mitte des Kastens gezogen wird.

Dieser Barometerapparat war eigentlich dazu bestimmt, die Schwerekorrektion auf einem anderen, bisher noch nicht angewendeten Wege zu bestimmen. Die Gefäße der zugehörigen Barometer können nämlich luftdicht abgeschlossen werden. Die Anzeigen der Barometer sind dann unabhängig vom äußeren Luftdruck und infolgedessen nur eine Funktion der Schwere und der Temperaturen des Quecksilbers und der im Gefäß befindlichen Luft. Da die Temperatur der letzteren sehr genau bekannt sein muß, ist es nötig, die Barometer in einem Raum konstanter Temperatur aufzustellen. Hecker wollte hierzu die auf großen Schiffen vorhandenen Kühlräume benutzen und außerdem die Barometergefäße in Dewarsche, mit Korkmehl gefüllte Flaschen versenken. Da auf dem Dampfer, der Hecker zur Verfügung stand, keine Kühlräume vorhanden waren, konnte er den Apparat nicht in der beabsichtigten Weise, sondern nur als gewöhnlichen Barometerapparat benutzen.

An den durch mikroskopische Ausmessung der Films erhaltenen Anzeigen der Barometer sind außer den üblichen Korrektionen noch Korrektionen wegen parallaktischer Fehler und wegen der verschiedenen Schwärzung der Films anzubringen. Aus den so erhaltenen Beobachtungsresultaten folgt, daß die Fehler in den barometrischen Messungen klein gegenüber den Fehlern sind, die die Siedethermometer-Beobachtungen aufweisen.

Bei der Ableitung der Schwerkraftskorrektion aus den Beobachtungen an Siedethermometern und Quecksilberbarometern berücksichtigt Hecker in der vorliegenden Arbeit, wie schon eingangs erwähnt wurde, auch den Einfluß der Eigenbewegung des Schiffes längs der Erdoberfläche. Die Schwerkraft setzt sich aus der Massenanziehung und der Wirkung der Zentrifugalkraft zusammen. Ist v die Geschwindigkeit, die ein Punkt der Erdoberfläche mit der Breite φ zufolge der Rotation der Erde hat, v' die Fahrtgeschwindigkeit des Schiffes in der Richtung von West nach Ost, R der Erdradius und g_1 die Beschleunigung zufolge der Massenanziehung, so ist die Gesamtgröße der Beschleunigung g' gegeben durch die Beziehung

$$g' = g_1 - \frac{v^2}{R} \cos\varphi + \frac{2\,v\,v'}{R} \cos\varphi\,,$$

wobei $\left(\frac{v'}{v}\right)^2$ gegenüber $\frac{2\,v\,v'}{v^2}$ vernachlässigt ist. Bei einer Fahrt des Schiffes von 23 *km* in der Stunde und bei $\varphi = 45^0$ ist $v' : v = 1 : 50$. Die hieraus sich ergebenden Korrektionen gehen bis zu 0,1 *mm* Barometerstand und sind daher nicht zu vernachlässigen, wenn sie auch, wie oben angegeben wurde, die Endresultate nur wenig beeinflussen.

Das Endergebnis, welches Hecker nach Ausgleichung des gesamten Beobachtungsmaterials erhält, ist folgendes:

Die Schwerkraft auf den Tiefen des Schwarzen Meeres ist angenähert normal und entspricht der Helmertschen Schwereformel von 1901. Die geringe Dichte der Wassermassen

des Schwarzen Meeres wird somit kompensiert durch die größere Dichte des Meeresbodens. Die Massenlagerung in der Erdkruste ist also auch hier eine isostatische; sie entspricht dem Prattschen Gesetz von der isostatischen Lagerung der Erdkruste. *Mfsr.*

Über Zentriermethoden bei der Polygonmessung.

Von R. A. de Wal. *Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde* (*Utrecht*) **25.** *S. 233. 1909.*

Der Aufsatz bespricht besonders eine von der Werkstatt für wissenschaftliche Instrumente G. De Koningh zu Arnhem (Niederlande) ausgeführte neue Zentriervorrichtung für den Theodolit; bei den kurzen Zielungen der Polygonmessung ist feine Zentrierung des

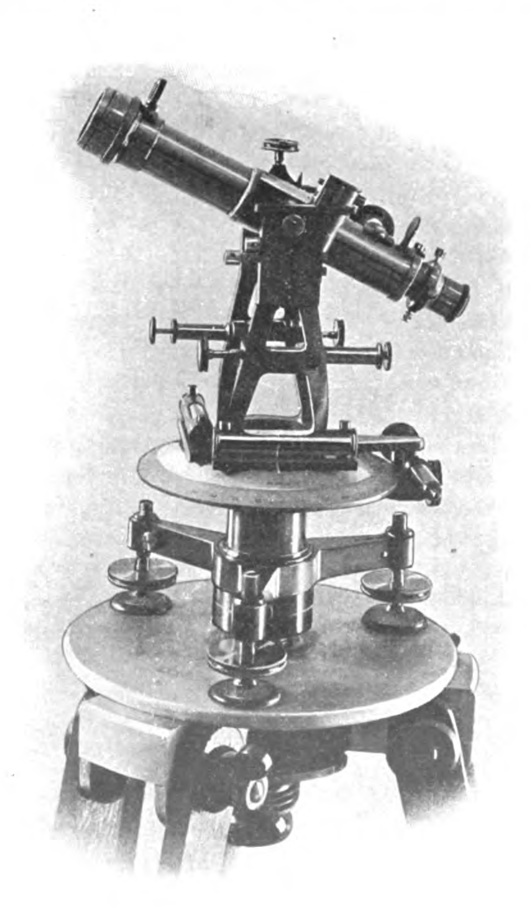


Fig. 1.

Theodolits auf jedem Winkelpunkt die erste Bedingung guter Horizontalwinkelmessung. Der Verf. bespricht von Zentriervorrichtungen überhaupt: den Zentrierstift, auf einem Pfeiler zu gebrauchen; die verschiedenen Formen des Schnurlots (einfacher Senkel, Senkel mit kleinem Schieber oder Klemme, Doppelsenkel, Rollsenkel verschiedener Einrichtung); das Meißnersche starre Lot (nebst den Erfahrungen von Gerke und Hendel); von optischen Projektionsvorrichtungen vom Boden auf das Stativ herauf oder umgekehrt den Jordanschen 45°-Spiegel, Fennels Hilfsfernrohr mit gebrochener Ziellinie, den Dreifuß mit zentral nach abwärts gerichtetem Fernrohr, Nagel-Hildebrands Zentrierapparat, den Theodolit mit zentri-

schem Zentrierfernröhrchen und exzentrischem Hauptfernrohr (unerwünscht bei den kurzen Zielungen und dadurch bedingter großer Abweichung der Ablesungen für Fernrohrlage I und Fernrohrlage II), endlich den Theodolit mit durchbohrter Vertikalachse, System Dennert & Pape (D.R.P. Nr. 47061), bei dem das zentrische Hauptfernrohr durch die durchbohrte Achse nach dem Nadir zielen kann, übrigens mit Hilfe der Ablesung am Höhenkreis des Instruments in die vertikale Richtung zu bringen ist. Mit diesem Instrument ist das De Koninghsche verwandt: zur Projektion auf den Boden herab wird das zentrische Fernrohr des Instruments gebraucht mit nach unten gerichtetem Objektiv; ein Höhenkreis braucht aber nicht vorhanden zu sein, vielmehr dient zur Vertikalrichtung der Fernrohrziellinie eine berichtigbare, auf der *Kippachse* befestigte Libelle (in Fig. 1 sichtbar), deren Achse mit der Kippachse einen rechten Winkel einschließen muß. Übrigens ist für die *erste* Einstellung eine Visiereinrichtung vorhanden. Die Aluminiumstativscheibe *a* (Fig. 2, schematischer Achsschnitt) trägt die bewegliche Aluminiumzentrierscheibe *b* mit zentraler Öffnung. An den Unterrand des Stativkopfs wird, drehbar um eine Achse *c*, die Klemmplatte *d* angepreßt, in deren Rahmen das an dem untern Zapfen des Theodolits angeschraubte Mittelstück verschiebbar ist. Die Leichtigkeit der feinen Zentrierung mit einem Fehler von nicht über wenigen zehntel Millimeter mit Hilfe einer De Koninghschen Einrichtung wird gerühmt. *Hammer.*

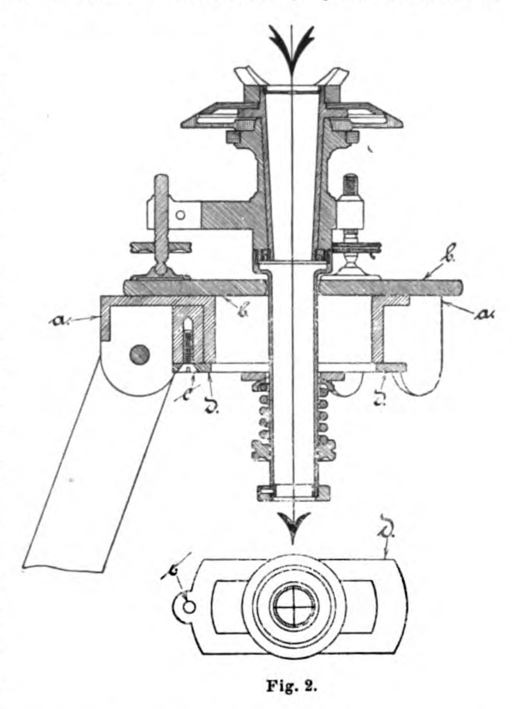


Fig. 2.

Planimeterharfe und Planimeterschieber.

Von R. A. de Wal. *Zeitschr. f. Vermess.* ***39.*** *S. 111. 1910.*

Wie das Günthersche Äquidistanz-Planimeter (*Zeitschr. f. Vermess.* ***1.*** *S. 64. 1872*) und das Mönkemöllersche Planimeter mit Zählrolle für die Addition der Mittelordinaten (*Zeitschr. f. Vermess.* ***24.*** *S. 33. 1895*) ist das hier beschriebene Instrumentchen (D.R.G.M. 343423) zur Erweiterung des Gebrauchs des Harfenplanimeters bestimmt. Der Stab des Schiebers trägt oben und unten zwei 25 *cm* lange feine Strichteilungen, z. B. in 1:2500 und 1:1000, die Zunge ebenfalls zwei Strichteilungen in denselben Verhältnissen, auf denen aber nur die Hauptstriche, z. B. 0, 50, 100, ... und 0, 25, 50, ... angegeben und die im Vergleich mit den Stabteilungen gegenläufig sind. Der Glasläufer ist, bündig mit der Unterfläche des Stabs, in eine Zelluloidplatte mit Indexstrich erweitert. Beim Gebrauch stellt man den Läufer auf 0 und legt das Lineal nach Augenmaß parallel den Mittellinien der Streifen, und zwar so, daß der Indexstrich durch den Anfangspunkt der ersten Mittellinie geht. Das Instrument wird mit der linken Hand festgehalten, mit der rechten der Läufer nach rechts geschoben, bis der Endpunkt der ersten Mittellinie vom Läuferstrich gedeckt wird. So wird fortgefahren, bis das Lineal die folgende Mittellinie nicht mehr fassen kann. Stellt man jetzt den Zungennullpunkt unter den Läuferstrich und schiebt den Läufer nach dem linken Ende des Lineals, bis der Läuferstrich einen der Striche auf der Zunge deckt, so kann man die folgenden Mittellinien in derselben Art abschieben.

Als Vorteile seiner Einrichtung zählt der Verf. besonders folgende auf: die Einstellungen sind genauer als mit dem Zirkel; man muß weniger häufig Zwischenablesungen machen; die Gefahr, einen Streifen zu überschlagen oder zuviel zu nehmen, ist geringer,

weil man durch das Lineal selbst immer darauf hingewiesen wird, ob eine bestimmte Mittellinie bereits addiert ist oder nicht; endlich (und dies scheint auch dem Ref. allerdings ein wesentlicher Vorzug zu sein, während die andern wohl nicht hoch anzuschlagen sind) bietet der *Indexstrich* größere Genauigkeit bei der Ausgleichung unregelmäßiger Streifenenden durch eine zu den Parallelstreifen senkrechte Gerade nach Augenmaß. Der Verf. schreibt seinem Instrumentchen „qualitativ und quantitativ überraschend gute Resultate“ zu, ohne die Ergebnisse von Versuchsmessungen oder sonstigen Anwendungen anzuführen.

Hammer.

Apparat zur Bestimmung der Siedepunktserhöhung bei Unterdruck.

Von K. Drucker. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **74.** *S. 612. 1910.*

Der Hauptteil des Apparates ist ein Siedegefäß mit elektrischer Innenheizung. Die Ansatzteile sind eingeschliffen; auch das von oben her eingeführte Thermometer ist in einen Schliff eingekittet. Durch ein seitliches Ansatzrohr kann, nachdem der Siedepunkt eines reinen Lösungsmittels bestimmt ist, die zu lösende Substanz eingeführt werden. Zur Konstanthaltung des Druckes in der künstlichen Atmosphäre ist diese dauernd an eine Luftpumpe angeschlossen; andererseits wird durch eine Nebenleitung mit Hilfe eines Regulators dauernd Luft zugeführt. Der Regulator besteht aus einem Elektromagneten, der durch ein U-förmiges Quecksilbermanometer betätigt wird, das mit der künstlichen Atmosphäre in Verbindung steht. Bei Einschaltung des Elektromagneten entfernt der Anker eine das plangeschliffene Ende des Nebenleitungsrohres abschließende Kautschuckscheibe. Die dann eintretende Luft wird durch zwei Hähne gedrosselt, und es läßt sich, nach Angabe des Verf., erreichen, daß die periodischen Schwankungen des Druckes nicht mehr als einige zehntel Millimeter betragen.

Schl.

Bücherbesprechungen.

Ch. A. Vogler, Geodätische Übungen für Landmesser und Ingenieure. 3. Aufl. 1. Tl.: Feldübungen. gr. 8°. VIII, 311 S. m. 69 Fig. Berlin, P. Parey 1910. Geb. in Leinw. 10 M.

Ein in weiten Kreisen bekanntes Buch stellt sich hier zum dritten Male in verbesserter und etwas erweiterter Form ein. Es hat schon bisher seine Aufgabe trefflich erfüllt, die Selbständigkeit zu wecken und „im Vorschreiten allmählich ein Gefühl der Sicherheit zu erzeugen“, indem es den zahlreichen Ursachen von Versehen und Fehlern gegenüber auf die möglichen Meß- und Rechenproben hinweist und dem Lernenden „aus jeder gelösten Aufgabe eine Gelegenheit zur eigenen Beurteilung der vorhandenen Leistungsfähigkeit“ eröffnet.

Wie seither ist der Stoff in die 6 Abschnitte: I. Flächenteilung und Grenzregelung; II. Abstecken von Geraden und von Kreisen; III. Polygon- und Kleinpunkte; IV. Triangulation, Punkteinschaltung; V. Nivellieren; VI. Trigonometrische und barometrische Höhenmessung, Tachymetrie, gegliedert; aber fast überall sind Umarbeitungen und Nachträge, neue literarische Verweise u. s. f. zu bemerken.

Eine abermalige Anzeige des Buchs in unserer Zeitschrift ist besonders deshalb angezeigt, weil durchaus, fast auf jeder Seite (vgl. *S. 2* die Bemerkungen über die Mittel zum Senkrechtstellen von „Baken“ und Stäben in Form der Ansetzlibelle von Rosenberg und des Lattenrichters von Butenschön bis zu den letzten Seiten des Buchs, die als „Anhang“ beherzigenswerte Vorschriften über die Behandlung des Meßgerätes und über das Aufstellen der Instrumente geben) wichtige Notizen, Ratschläge und sonstige Bemerkungen zu den geodätischen Instrumenten und Gerätschaften sich finden. Der Verf. gestatte mir, mich hier über eine dieser Bemerkungen (Fußnote *S. 62/63*) in einigen Worten auszusprechen. Es wird mir hier der Vorwurf gemacht, gegen das Herkommen zu verstoßen, wenn ich die Bezeichnung „Skalenmikroskop“ statt „Schätzmikroskop“ empfehle; denn diese zweite rühre von Hensoldt, dem Erfinder, selbst her, und wenn sie allerdings nicht treffend genug

gewählt sei, so gelte dies ebensogut von dem Ausdruck „Skalenmikroskop“, und es sei „unter gleichwertigen Vorschlägen von Namen herkömmlich, dem des Urhebers der Sache den Vorrang zu lassen“. Ich glaube, man sollte für Meßinstrumente und ihre Teile (von althergebrachten Bezeichnungen wie z. B. Theodolit, Limbus, Alhidade u. dgl. abgesehen) auf Namen bedacht sein, die sachlich, kurz, das *Wesentliche* treffend und *unzweideutig* das Gewünschte benennen. Dabei ist es, selbst auf die Gefahr hin, daß neue Einrichtungen oder Erfindungen gelegentlich Änderung einer bereits bestehenden Bezeichnung verlangen, meiner Ansicht nach zweckmäßig, Gleichartiges (wie in unserem Fall die verschiedenen Formen der *Ablesemikroskope*) nach *einheitlichem* Einteilungsprinzip in den Namen zu trennen, sodaß für Zusammengehöriges auch Koordination in den Namen sich ausdrückt. Man wird dabei freilich oft in den Konflikt zwischen Beschreibung und Namen geraten: wenn ich z. B. sage Ablesemikroskop mit fokaler Glasstrichskale nach Hensoldt, so ist die Sache zweifellos und eindeutig bezeichnet, aber durch eine Beschreibung, nicht durch einen Namen; wenn ich dagegen sage *Schätzmikroskop*, so ist dies allerdings ein genügend kurzer, sachlicher Name, der aber nicht treffend genug, nämlich nicht (jedenfalls heute nicht mehr) unzweideutig ist. Der Name *Strichmikroskop* vollends, der für die uns beschäftigende Ablesevorrichtung ebenfalls noch oft gebraucht wird, ist, wie wohl jederman zugeben wird, ganz unmöglich geworden, seit wirkliche *Strich*- oder reine *Schätz*-Mikroskope in Form der Lallemandschen (oder wie Vogler will, Reinhertzschen) Mikroskope zu den ältern Ablesemikroskopen hinzugekommen sind. Was haben die drei Mikrometer, die wir als Ablesemikroskope an gleichförmigen, z. B. Kreis-Teilungen verwenden, zu leisten? Sie haben den kleinen Abstand einer Marke vom nächst vorhergehenden Strich der Teilung zu messen; diese Messung geschieht beim Schraubenmikrometer (bekanntlich besonders von Ramsden zu seiner großen, seither immer noch mehr gesteigerten Leistungsfähigkeit ausgebildet) durch die ganzen und Teil-Umdrehungen einer Meß-*Schraube*; beim Hensoldtschen Ablesemikroskop durch *Abzählen* der Teile einer gleichförmigen *Skale* im Fokus des Mikroskops, wobei allerdings zwischen zwei Striche dieser Skale hinein noch zu *schätzen* ist, diese Schätzung sich aber zu den ganzen Teilen der Skale ganz ähnlich verhält wie die Trommelablesung am Schraubenmikrometer zu den ganzen Schraubenumdrehungen. Soll also für das Hensoldtsche Mikrometer der Name Schätzmikroskop gewählt werden, so geht damit die *Koordination* mit *Schrauben*-Mikrometer verloren, schon weil hier die ganzen Umdrehungen der Schraube so wenig gleichgültig sind als die ganzen Teile im Hensoldtschen Mikroskop; dort *schätzt* man auf einen bestimmten Teil der Mikroskopeinheit, hier *mißt* man auch diesen Teil der Mikroskopeinheit noch mit der Schraube durch Ablesung an deren Trommel. Bei Lallemands Ablesemikroskop bietet sich zur Lösung der Aufgabe, den Abstand der Ablesemarke, hier eines Fadens (Strichs), von dem nächst vorhergehenden Strich der Teilung zu bestimmen, rein und allein die *Schätzung* an jenem Faden.

Nach dieser Art der Bestimmung des kleinen Abstands zwischen Ablesemarke und nächst vorhergehendem Strich der Teilung mit Hilfe einer *Schraube*, mit Hilfe des Abzählens der Teile einer Mikroskop-*Skale*, mit Hilfe reiner *Schätzung* halte ich es auch jetzt noch logisch für gerechtfertigt, die drei Ablesemikroskope als Schraubenmikroskop, Skalenmikroskop und Schätzmikroskop (oder auch Strichmikroskop) zu benennen.

Hammer.

Neue Preisliste von C. A. Steinheil Söhne in München.

Preisliste über photographische Objektive, optische Hilfsapparate und Kameras. gr. 8°. 88 S. m. Abbildgn. u. Taf. 1909.

I. Nachtrag: Satz-Orthostigmat Serie A, 1:6. 8 S. m. Abbildgn. 1910.

Die vorliegende Preisliste ist ein vorzüglich illustriertes, sehr lesenswertes Heft, welches bedeutend mehr enthält, als man in einem einfachen Preisverzeichnis erwarten sollte.

Nach einem kurzen historischen Überblick über die wichtigen im Laufe der Zeit aus der Steinheilschen Werkstätte hervorgegangenen Objektivtypen folgt eine ausführliche

Besprechung der Eigenschaften und Anwendungen photographischer Objektive. Es werden eingehend behandelt: die Brennweite (Einstellungstabellen für Vergrößerungen und Verkleinerungen), die Helligkeit (Tabellen für Belichtungszeit und Tiefenschärfe), die Bildwirkung und richtige Perspektive, die Stereoskopie, die Ausstattung, Herstellung und Prüfung der Objektive, und zum Schluß werden beherzigenswerte Winke für die Wartung und Behandlung der optischen Apparate und für die den verschiedenen Anwendungsarten entsprechende Auswahl der Objektive gegeben.

Hierauf folgt die Beschreibung der verschiedenen, allen Bedürfnissen der modernen Photographie angepaßten Objektivtypen. Von diesen seien hier hervorgehoben: das Triplar, ein neuer, äußerst lichtstarker Anastigmat mit der Öffnung 1:3,8 und einem Bildwinkel von 40°, die Unofokal-Serien 1:4,5 und 1:6 von verhältnismäßig niedrigem Preise, der für alle Farben-Reproduktionen berechnete Apochromat-Orthostigmat 1:9 und der Weitwinkel-Orthostigmat mit dem extremen Bildwinkel von über 100°. Die Leistungsfähigkeit aller Objektivarten ist durch vorzüglich reproduzierte Aufnahmen veranschaulicht.

Von optischen Hilfsapparaten enthält der Katalog verschiedene Arten von Tele-Ansätzen, unter anderem eine achromatische negative Vorstecklinse, welche besonders auch mit unsymmetrischen Objektiven die Gewinnung größerer Originalaufnahmen ermöglichen soll, ferner Umkehr-Prismen und -Spiegel, Küvetten, Gelbscheiben und Ähnliches. Die Besprechung der von der Firma gelieferten Kameras beschließt das Heft.

Der kürzlich erschienene Nachtrag enthält die Beschreibung eines neuen Satz-Orthostigmats. Die dreiteilig verkittete Orthostigmatlinse ist noch besser korrigiert, als die einzelne Hälfte des früheren Orthostigmats der Firma. Hierdurch wurde ermöglicht, diese Hälften ohne jede Abblendung als Einzelobjektive von großer Brennweite und der Öffnung 1:12 zu verwenden. Ein aus 3 solcher Hälften bestehender Satz liefert sechs verschiedene Brennweiten und genügt daher für die meisten Bedürfnisse. Die Öffnung beträgt bei Verwendung zweier gleicher Hälften f:6, und die Lichtstärke ist daher noch größer als die des früheren Steinheilschen Orthostigmats (1:6,8). *J. H.*

Neu erschienene Bücher.

A. Stähler, Einführung in die anorganische Chemie. gr. 8°. XII, 508 S. m. 95 in den Text gedr. Abbildgn. u. 1 farb. Spektraltaf. Leipzig, J. J. Weber 1910. Geb. in Leinw. 12 M.

O. Lehmann, Das Kristallmikroskop und die damit gemachten Entdeckungen, insbesondere die der flüssigen Kristalle. Aus: „Festschrift der Fridericiana z. 53. Geburtstage Sr. kgl. Hoh. d. Großh. Friedrich II. v. Baden". gr. 8°. VII, 112 S. m. Abbildgn. u. 1 Taf. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1910. 3 M.

Minerva. Jahrbuch der gelehrten Welt. Begründet von Dr. K. Trübner. 20. Jahrg. 1910/11. kl. 8°. LXVI, 1596 S. m. 1 Bildnis. Straßburg, K. J. Trübner 1910. 17 M.; geb. in Halbperg. 18 M.

K. Düsing, Die Elemente der Differential- u. Integralrechnung, in geometrischer Methode dargestellt. Ausg. B: Für höhere techn. Lehranstalten u. zum Selbstunterricht. Mit zahlreichen Beispielen aus der techn. Mechanik v. Dipl.-Ing. E. Preger, sowie m. vielen Übgn. u. 68 Fig. 2. Aufl. 8°. XI, 101 S. Hannover, Dr. M. Jänecke 1910. Geb. 1,90 M.

G. Helm, Die Grundlehren der höheren Mathematik. Zum Gebrauch bei Anwendgn. u. Wiederholgn. zusammengestellt. gr. 8°. XV, 419 S. m. 387 Fig. Leipzig, Akadem. Verlagsgesellschaft 1910. 13,40 M.; geb. in Leinw. 14,20 M.

J. Stark, Prinzipien d. Atomdynamik. 1. Tl. Die elektrischen Quanten. 8°. X, 124 S. Leipzig, S. Hirzel 1910. 3,20 M.; geb. 4 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **F. R. Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Raps**, geschäftsführendes Mitglied,
Dr. **H. Krüss**, Prof. Dr. **R. Straubel**.

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. — Februar 1911. — Zweites Heft.

Präzisionsmessungen an Selbstinduktionsnormalen (II. Teil).

Von
E. Giebe.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

(Fortsetzung von S. 20.)

8. Apparate.

a) Die Selbstinduktionsnormale.

Berechnung und Konstruktion. Die im Jahre 1904 in der Reichsanstalt mit Dolezalek-Litze hergestellten Normale erwiesen sich, wie schon erwähnt, bei näherer Untersuchung als nicht hinreichend hautwirkungsfrei. Die Ursache davon ist wahrscheinlich in der nicht genügenden Verdrillung der Einzeldrähte und unzureichender Isolation derselben gegen einander zu suchen. Um zu erreichen, daß alle Einzeldrähte möglichst gleich oft jede Stelle des Litzenquerschnittes erfüllen, wurde daher für die neuen Normale verflochtene[1]) oder mehrfach verdrillte Azetat- oder Emailledrahtlitze verwendet, bei welchen die Isolation zwischen den Einzeldrähten recht gut war. So bestand z. B. eine der verwandten Emailledrahtlitzen aus 108 Einzeldrähten von je 0,07 *mm* Kupferdurchmesser, die nach dem Schema $4 \times 3 \times 3 \times 3$ mehrfach verdrillt waren. Es waren also zunächst 4 Einzeldrähte einfach miteinander verdrillt, sodann von der erhaltenen Litze in gleicher Weise 3, darauf von der neuen Litze 3 und nochmals 3.

Die Normale sind für quadratischen Wicklungsquerschnitt und für ein Minimum von Drahtlänge nach der Stefanschen[2]) Formel

$$\left.\begin{aligned} L &= 4\pi a N^2 \left[\left(1 + \frac{1}{24}\frac{b^2}{a^2}\right) \ln \frac{8a}{b\sqrt{2}} - 0{,}848 + 0{,}0510 \frac{b^2}{a^2}\right] \\ L &= 4\pi a N^2 f(\varepsilon) = \frac{2\, l^{5/3} \varepsilon^{2/3} f(\varepsilon)}{(2\pi d)^{2/3}} \end{aligned}\right\} \qquad 22)$$

berechnet und auf Marmorkerne gewickelt (L Selbstinduktion, a mittl. Radius, b Seite des Windungsquadrates, N Anzahl der Windungen, l Drahtlänge, d Durchmesser des umsponnenen Drahtes, $\varepsilon = b/a$).

Die Funktion $\varepsilon^{2/3} f(\varepsilon)$ ist ein Maximum, l also ein Minimum, wenn $1/\varepsilon = 1{,}5$ ist. Eine genaue Innehaltung dieses Wertes ist nicht notwendig, wie folgende Zahlen zeigen:

---

[1]) Patent der Firma Siemens & Halske, A.-G. (Dr. Adolf Franke); s. a. Dolezalek und Möller, *Ann. d. Physik* **22.** *S. 559. 1907.*

[2]) Stefan, *Wied. Ann.* **22.** *S. 114. 1884* und M. Wien, *Wied. Ann.* **58.** *S. 562. 1896.*

$1/\varepsilon$	$\varepsilon^{2/3} f(\varepsilon)$
1,1	1,019
1,5	1,032
1,85	1,024

Die Vorausberechnung war in der Regel auf etwa 1% zutreffend. In der Tab. IV sind die Daten zusammengestellt für vier Spulen, die im folgenden als die „Hauptnormale“ bezeichnet werden.

Tabelle IV.

Bezeichnung der Spule	Selbstinduktion cm	Litze	Zahl der Einzeldrähte	Durchmesser des Einzeldrahtes mm	Windungszahl	Durchmesser innen mm	Durchmesser außen mm	Seite des Wicklungsquadrates mm	Widerstand Ohm	$\frac{1}{\varepsilon}$
N_8	10^8	Azetat, verflochten	25	0,1	1088	33,1	66,3	33,1	36	1,5
N_7	10^7	Emaille, verdrillt	108 = $4 \times 3 \times 3 \times 3$	0,07	350	30,8	61,6	30,8	5,1	1,5
N_6	10^6	Emaille, verdrillt	108 = $4 \times 3 \times 3 \times 3$	0,07	137	21,0	42,1	21,0	1,2	1,5
N_5	10^5	Azetat, verflochten	100	0,1	51	14,6	29,2	14,6	0,17	1,5

Zwischen je zwei Lagen jeder Spule ist zur Sicherung der Isolation ein dünner Papierstreifen gelegt. Nach Fertigstellung der Wicklung wurden die Spulen im Vakuum paraffiniert. Leider sind bei allen Spulen eine Anzahl Einzeldrähte (bei der Fabrikation der Litzen) gerissen, z. B. bei N_7 32 bei N_6 9. Die Eigenschaften der Spulen scheinen jedoch dadurch nicht beeinflußt zu werden, abgesehen davon, daß ihr Gleichstromwiderstand größer ist, als dem Sollwert des Kupferquerschnittes entspricht.

Mit verflochtener Azetatlitze ist ferner aus dem im Abschn. 5 (*S. 11*) erörterten Grunde ein Satz (10^5, 10^6, 10^7, 10^8 *cm*) bifilar gewickelter S.-I.-Spulen hergestellt, die zugleich als gegenseitige Induktionen benutzt werden können[1]). Leider haben Bifilarspulen gewisse unerwünschte Eigenschaften (vgl. w. u. *S. 44*), sodaß sie als Präzisionsnormale nicht geeignet sind. Die wichtigsten Daten für die bifilaren und die übrigen im folgenden untersuchten Spulen sind in Tab. V enthalten.

Das bei den älteren Spulen verwandte Serpentin erwies sich, was zuerst Rosa[2]) beobachtete, als stark eisenhaltig. Im Marmor konnte in keinem Falle Eisengehalt konstatiert werden. Die Anschlußklemmen aller Spulen der Reichsanstalt sind aus Konstantan in möglichst kleinen Abmessungen[3]) hergestellt und am Rande der Spule auf Hartgummi befestigt. Besondere Versuche zeigten, daß Wirbelströme in diesen Klemmen die Messungen nicht beeinflußten.

---

[1]) Bifilarspulen bieten viele Schaltungsmöglichkeiten: z. B. enthält eine auf 0,1 H. abgeglichene Bifilarspule: drei S.-I. zu 0,1 H., eine S.-I. zu 0,4 H., eine gegenseitige Induktion zu 0,1 H. Die Kapazität zwischen beiden Wicklungen betrug für Spule Nr. 41 0,079 Mf. Wurde eine Wechselspannung der Frequenz 1800 an den Anfang der einen und das Ende der anderen Wicklung gelegt, so war die Spule in Resonanz.

[2]) Rosa, *Bull. of the Bureau of Standards* **1**. *S. 337. 1905.*

[3]) Vgl. Orlich, *a. a. O.*

Tabelle V.

Spule Nr.	Selbstinduktion cm	Draht	Spulenkern	Widerstand Ohm
32	10^9	Dolezalek-Litze	Marmor	105
16[1]	10^9	"	"	157
70	10^8	Emaillelitze, 3 × 27	"	23,1
41	10^8	Azetatlitze, verflochten, bifilar	"	39,1 37,1
29[1]	10^8	Dolezalek-Litze	Serpentin	21,5
45	10^8	"	Holz	26,8
38[2]	10^8	Volldraht	Serpentin	22,4
42	10^7	Azetatlitze, verflochten, bifilar	Marmor	5,6 5,4
43	10^6	"	"	0,82 0,84
27	10^6	Dolezalek-Litze	Serpentin	0,44
40[2]	10^6	Volldraht	"	0,39
44	10^5	Azetatlitze, verflochten, trifilar	Marmor	0,23 0,26 0,23
26	10^5	Dolezalek-Litze	Serpentin	0,13

[1]) bezogen von der Firma Siemens & Halske, A.-G. in Berlin-Nonnendamm.
[2]) " " den Land- und Seekabelwerken, A.-G. in Köln-Nippes.

Temperaturkoeffizienten. Die Annahme, daß für alle Spulen nahe der gleiche Temperaturkoeffizient der S.-I., den Wien[1]) bei seinen ersten Volldrahtnormalen etwa dem linearen Ausdehnungskoeffizienten des Kupfers entsprechend beobachtete, in Betracht komme und daher bei Vergleichsmessungen keine große Rolle spiele, erwies sich als unzutreffend. Es wurden vielmehr für verschiedene Spulen folgende verschiedene Temperaturkoeffizienten (zwischen 18° und 26°) gefunden:

Spule Nr.	Selbstinduktion cm	Temperaturkoeffizient
N_5	10^5	$-2,3 \cdot 10^{-5}$
44	10^5	0
43	10^6	+1,3 "
N_7	10^7	etwa −2 "
41	10^8	nahe 0
N_8	10^8	etwa −2,4 "

Die auffälligen negativen Werte sind vermutlich auf das nicht ganz feste Gefüge der Drahtlitze und auf den Einfluß des Paraffins und der Seidenisolation zurückzuführen; sie können nur für einen beschränkten Temperaturbereich gelten. Bei Spule N_7 blieb nach Erwärmung auf 26° (18 Stunden lang im Thermostaten) eine dauernde Änderung der S.-I. von etwa $6 \cdot 10^{-5}$ bestehen, in geringerem Betrage auch bei Nr. 43. Dauernde Änderungen der S.-I. (unterhalb 0,0001 des Wertes) in längerer Zeit wurden übrigens bei einzelnen Spulen auch ohne voraufgegangene Erwärmung beobachtet.

[1]) M. Wien, *Wied. Ann.* **58.** *S. 562. 1896.*

Von einer genaueren Untersuchung über die Temperatur-Koeffizienten wurde einstweilen Abstand genommen, weil es in der vorliegenden Arbeit neben der Ausbildung der Meßmethode hauptsächlich auf die relativen Werte der S.-I. bei verschiedenen Frequenzen ankam. Diese wurden unmittelbar nacheinander bestimmt, wobei man für konstante Zimmertemperatur nach Möglichkeit Sorge trug. Daß die Spulen, insbesondere in den Schutzkästen, Temperaturschwankungen nur langsam folgen, ist der Ausführung längerer Versuchsreihen günstig[1]). Die Temperaturerhöhung durch Joulesche Wärme ist verschwindend. Bei den im folgenden mitgeteilten Messungen wurden Temperaturkorrektionen nur in einigen besonders ungünstigen Fällen angebracht.

Zuleitungen. Da die Spulen zur Vermeidung gegenseitiger Induktion [Abschn. 6*a*) *S. 12*] in ziemlicher Entfernung voneinander aufzustellen sind, so müssen die Zuleitungen eine beträchtliche Länge erhalten. Demgemäß ist bei der Messung kleiner S.-I. hauptsächlich die S.-I., bei der Messung großer S.-I. die Kapazität der Zuleitungen zu berücksichtigen. Am zweckmäßigsten ist es, wie in dieser Untersuchung geschehen, jede Spule immer mit denselben Zuleitungen zu benutzen und ihre S.-I. bezw. Kapazität einschließlich der der Zuleitungen zu bestimmen. Es wurden folgende, aus Litzendraht hergestellte, 1 *m* lange, bifilare Zuleitungen von etwa 0,1 Ohm Widerstand benutzt.

Nr. I. Für Spulen von 10^7 *cm* und mehr, durch Messingrohre (Durchmesser 2 *cm*) abgeschützt (vgl. Fig. 4, *S. 18*). Der eine Litzendraht wird durch Hartgummistücke in der Rohrachse gehalten; der zweite befindet sich nahe der Rohrwand und ist mit seinem einen Ende an das Rohr angelötet:

Kapazität[2]) $23{,}8 \cdot 10^{-12}$ Farad. Selbstinduktion 1153 *cm*.

Nr. II. Unmittelbar neben einander auf ein Band festgenähte Litzendrähte:

Kapazität $170 \cdot 10^{-12}$ Farad. Selbstinduktion 448 *cm*.

Nr. III. Litzendrähte mit 1 *cm* Abstand, der durch Hartgummistücke konstant erhalten wird:

Kapazität $10{,}0 \cdot 10^{-12}$ Farad. Selbstinduktion 1305 *cm*.

Nr. II und III dienten für Spulen von 10^5 und 10^6 *cm*, Nr. III nur bei Bestimmung der sehr kleinen Kapazität dieser Spulen.

Die beiden Bifilardrähte müssen sehr gut voneinander isoliert sein; das Isolationsmaterial darf keine dielektrischen Verluste zeigen (vgl. Abschn. 5, *S. 10*), was man durch Messung der Kapazität bei verschiedenen Unterbrechungszahlen des rotierenden Unterbrechers prüfen kann. So wurden z. B. für anfangs statt Nr. I und III benutzte Zuleitungen, die, auf Band festgenäht, durch Preßspanstücke in konstantem Abstand von 1 *cm* gehalten wurden, folgende Werte gemessen:

Unterbrechungszahl	Kapazität für 1 *m*
178	$72 \cdot 10^{-12}$ Farad
360	$57 \cdot 10^{-12}$ „ .

[1]) Es liegt nahe, zur Feststellung der mittleren Spulentemperatur die Wicklung selbst als Widerstandsthermometer zu benutzen. Dies Verfahren ist jedoch unbrauchbar, weil der Widerstand von *Litzen*-Drahtspulen auch bei konstanter Temperatur und längere Zeit nach Herstellung stark schwankt, bis zu einigen Prozent. Diese Schwankungen sind ebenso wie der Temperatur-Koeffizient des Widerstandes für den vorliegenden Zweck belanglos, da es nur auf Relativwerte bei verschiedenen Frequenzen ankommt.

[2]) gemessen nach Maxwells absoluter Methode mit rotierendem Unterbrecher, vgl. Giebe, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 269. 1909.*

Die Kapazität ist also stark abhängig von der Frequenz infolge dielektrischer Verluste im hygroskopischen Preßspan, die außerdem bei der Wechselstrommessung eine Erhöhung des „Leistungswiderstandes" (vgl. *Elektrotechn. Zeitschr.* ***30.*** *S. 861. 1909*) einer mit solchen Zuleitungen gemessenen Spule vortäuschen. Aus dem gleichen Grunde und wegen ihrer beträchtlichen Kapazität sind auch gewöhnliche verdrillte Zuleitungsschnüre mit Baumwolle- oder Gummi-Isolation selbst für wenig genaue Messungen von großen S.-I. ungeeignet.

Endlich ist zu beachten, daß die Kapazität nicht abgeschützter Zuleitungen, wie Nr. II und III, erst durch 2 Konstanten definiert ist, deren Größen überdies von der Lage der Zuleitung zur Umgebung abhängt. So wurde z. B. für Zuleitung Nr. III gemessen:

Ein Draht, 1 oder 2, isoliert, der andere an Erde 0	Beide Drähte miteinander verbunden und isoliert gegen Erde
$\left.\begin{matrix} c_{12}+c_{10} \\ c_{12}+c_{20} \end{matrix}\right\} = 17{,}2\cdot10^{-12}$ F. $c_{10}=c_{20}$	$c_{10}+c_{20} = 2\,c_{10} = 14{,}4\cdot10^{-12}$ F.

Bei Wechselstrommessungen kann, ebenso wie bei Kabeln, nach den jeweiligen Umständen eine verschiedene „Betriebskapazität[1]" der Zuleitungen in Frage kommen.

b) Stromquellen und Nullinstrumente.

Für niedrige Frequenzen, $n < 435$, diente ein Saitenunterbrecher nach Orlich[2]) oder ein rotierender Unterbrecher, für $n > 500$ eine Wechselstromsirene nach Dolezalek. Die Frequenzmessung geschah mittels bekannter Stimmgabeln bezw. für die rotierenden Stromerzeuger durch Tourenzählen. Die Meßstromstärke (im Hauptkreis an I, Fig. 1, gemessen) betrug meist 0,07 bis 0,14 Amp., nur bei 1 Henry-Spulen weniger.

Als Nullinstrumente dienten bis $n = 435$ Rubenssche[3]) Vibrationsgalvanometer, in letzter Zeit auch ein Doppelsaitengalvanometer[4]) von Duddell, das ersterem an Empfindlichkeit überlegen ist, für $n > 500$ ein Telephon von Siemens & Halske mit einem Gleichstromwiderstand von 9,5 Ohm (wegen der Empfindlichkeit vgl. Fig. 7, *S. 39*). Abgeschützt gemäß Fig. 4 war nur das Telephon, nicht die Galvanometer. Die Vorschaltung eines Kondensators vor das Nullinstrument zur Kompensation seiner S.-I. verursacht leicht Fehler (vgl. *S. 17*). Es konnte stets auf ein völliges Verschwinden des Telephontones eingestellt werden[5]), woraus folgt, daß der Wechselstrom hinreichend sinusförmig war (vgl. *S. 7*).

c) Die Bifilarwiderstände der Brücke Fig. 4.

w_3 und w_4 bestanden aus Manganindrähten von 0,15 *mm* und hatten eine bifilare Länge von je 1,20 *m* bei einem Drahtabstand von 2 *mm* (Gesamtwiderstand je 52 Ohm). Kleine Änderungen bis max. 1‰ des Verhältnisses w_3/w_4 erfolgten mittels Schleifkontaktes bei D auf dünnem, 2 *cm* langem, kupfernem Schleifdraht mit Skale, große

[1]) Vgl. *Elektrotechn. Zeitschr.* ***30.*** *S. 1156. 1909.*

[2]) Orlich, *Elektrotechn. Zeitschr.* ***24.*** *S. 502. 1903*; Referat in *dieser Zeitschr.* ***24.*** *S. 126. 1904.*

[3]) Rubens, *Wied. Ann.* ***56.*** *S. 27. 1895.*

[4]) Mühlenhöver, Dissertation, Münster 1905; Duddell, *Phil. Mag.* ***18.*** *S. 168. 1909*; vgl. auch die Referate in *dieser Zeitschr.* ***30.*** *S. 129, 232. 1910.*

[5]) Bei den von der Frequenz stark abhängigen Messungen, Tab. I, *S. 14*, erhielt man naturgemäß nur ein unscharfes Tonminimum, wobei Obertöne deutlich hörbar waren.

Änderungen durch Verstellen der Klemmen K_3, K_4 (Fig. 2). Nach jeder Wechselstrommessung wurde das Verhältnis w_3/w_4 mit Gleichstrom durch Vergleich mit Normalwiderständen bestimmt. Diese Eichung erforderte aus verschiedenen Gründen einige Vorsicht, worauf wir nicht näher eingehen. Es wurden Kontrollmessungen verschiedenster Art ausgeführt.

Der Widerstand w_1' bestand, um besonders bei kleinen Spulen hinreichend kleine Widerstandsänderungen zu ermöglichen, aus zwei parallel geschalteten Bifilarwiderständen[1]) von verschiedenen Dimensionen, einem kleineren, dessen Betrag durch Verstellen einer Klemme geändert wurde, und einem 5- bis 10-mal größeren Widerstand mit Gleitkontakt. Beide Widerstände sind neben Skalen ausgespannt und ein für allemal geeicht. Die S.-I. von w_1', d. i. die resultierende S.-I. der beiden parallel geschalteten Widerstände[2]), muß bei der Messung kleiner S.-I. berücksichtigt werden, ebenso die S.-I. kurzer, bifilarer Anschlußleitungen aus Kupfer, die, zwischen Hartgummi fest verlegt, von den Eckpunkten A, B, C der Brücke Fig. 4 zu den eigentlichen Spulenzuleitungen führten; alle Verbindungen wurden durch Lötung hergestellt. Die notwendigen Korrektionen wurden sämtlich aus den geometrischen Abmessungen der Drähte berechnet, aber auch durch Messung ermittelt, indem man wie bei Widerstandsvergleichungen zwei Spulen gleicher S.-I., L_1 und L_2, in den Zweigen 1 und 2 gegen einander auswechselte. Man erhielt dann

$$\left.\begin{array}{lll} \text{I} & \text{für } L_1 \text{ in Zweig 1}, \ L_2 \text{ in Zweig 2} & \dfrac{L_1 + L_1' + \lambda_1}{L_2 + \lambda_2} = \left(\dfrac{w_3}{w_4}\right)_{\rm I} \\ \text{II} & \text{für } L_2 \text{ in Zweig 1}, \ L_1 \text{ in Zweig 2} & \dfrac{L_1 + L_2' + \lambda_2}{L_2 + L_1' + \lambda_1} = \left(\dfrac{w_4}{w_3}\right)_{\rm II} \end{array}\right\} \quad 23$$

Hierin bedeuten: L_1', λ_1, λ_2 die S.-I. von w_1' sowie der erwähnten Anschlußleitungen, L_2' die S.-I. eines Widerstandes, der bei Messung II in Zweig 2 hinzugeschaltet werden muß und solchen Betrag hat, daß bei den beiden Messungen w_1' nahezu unverändert bleibt. L_2' kann beim Vergleich von 10^5 *cm*-Spulen sehr klein oder zu Null[3]) gemacht werden. Aus Gl. 23) findet man

$$F = L_1' + \lambda_1 - \lambda_2 - \frac{L_2'}{2} = \frac{L_2}{2}\left[\left(\frac{w_3}{w_4}\right)_{\rm I} - \left(\frac{w_4}{w_3}\right)_{\rm II}\right].$$

Zwei Versuche mit 10^5 bezw. 10^6 *cm*-Spulen ergaben folgende, nahe übereinstimmende Resultate:

F	$\frac{L_2}{2}\left[\left(\frac{w_3}{w_4}\right)_{\rm I} - \left(\frac{w_4}{w_3}\right)_{\rm II}\right]$
berechnet	beobachtet
35,3 *cm*	39,3 *cm*
54 „	52 „

Bei Messungen im Verhältnis 1:10 ist jene Kommutierung nicht ohne weiteres möglich. Die Berechnung der Korrektionen ist jedoch, wie das Beispiel zeigt, recht genau.

[1]) In Fig. 2 und 4 ist nur einer gezeichnet.

[2]) Die resultierende S.-I. parallel geschalteter induktiver Widerstände hängt im allgemeinen von der Frequenz ab; die Verhältnisse waren so, daß man praktisch mit einer von der Frequenz unabhängigen Näherungsformel rechnen konnte.

[3]) Man ersetzt ein kurzes Stück Kupferdraht der Anschlußleitung in Zweig 2 für Messung II durch einen genau gleichen Manganindraht.

Durch das gleiche Kommutierungsverfahren konnte auch beim Vergleich nahe gleicher Spulen großer S.-I. die Kapazität der erwähnten Anschlußleitung experimentell bestimmt werden.

9. Ausführung der Messungen, Einstellungsgenauigkeit.

Die Nulleinstellung der Brücke geschah in der bekannten Weise durch abwechselndes Verändern des Verhältnisses w_3/w_4 und von w_1'. Dabei ist es im allgemeinen nicht möglich, die beiden Bedingungen 1) und 2) (*S. 8*) mit der gleichen prozentischen Genauigkeit zu erfüllen. Mit zunehmender Frequenz wird vielmehr unter sonst gleichen Verhältnissen die Selbstinduktionsmessung immer genauer, die Widerstandsmessung immer ungenauer. Die Einstellungsgenauigkeit ergibt sich aus der beobachteten „Minimumsbreite", d. i. der Differenz derjenigen beiden Schleifkontakteinstellungen (für w_3/w_4 und w_1'), bei welchen das Telephon eben wahrnehmbar zu tönen anfing bezw. aufhörte. Das Minimum entsprach in allen Fällen einem völligen Schweigen des Telephons. Daß sich jene Grenzwerte der Einstellung bei einiger Übung ziemlich scharf beobachten lassen, zeigt folgendes Meßbeispiel:

$w_3 : w_4 = 50:5$ $\quad L_1 = 10^8\ cm$ $\quad L_2 = 10^7\ cm$

$n = 1684$ $\quad w_1 = 36$ Ohm $\quad w_2 = 54$ Ohm.

Grenzwerte der Schleifkontakteinstellungen

	für w_3/w_4		für w_1'	
	7,2	6,7	277,2	285,2
	7,4	6,6	77,5	87,5
	7,3	6,8	80,9	86,2
	7,4	6,8	79,0	87,2
	7,4	6,8	79,0	87,2
Mittel	$7,3_4$	$6,7_4$	278,7	286,7

1 Teilstr. $= 1\ mm = 6{,}3 \cdot 10^{-5}$ von $\frac{w_3}{w_4}$ $\qquad$ 1 Teilstr. $= 1\ mm = 11 \cdot 10^{-5}$ von $\frac{w_1 + w_1'}{w_2}$ $= 6 \cdot 10^{-3}$ Ohm

Minimumsbreite $\Delta = 0{,}60$ Teilstr. $= 3{,}8 \cdot 10^{-5}$ $\qquad$ $\Delta = 8{,}0$ Teilstr. $= 88 \cdot 10^{-5}$ $= 0{,}048$ Ohm.

Die Grenzwerte für w_3/w_4 wurden beobachtet, während w_1' auf das Mittel 282,7 eingestellt war, entsprechend für w_1'. Die Genauigkeit der Mittelwerte ist etwa auf den fünften Teil der Minimumsbreite einzuschätzen. Die letztere ist bei verschiedenen Frequenzen sehr verschieden, wie Fig. 7 zeigt, in welcher als Abszissen die Frequenzen, als Ordinaten die für $w_3/w_4 = 10$ beim Vergleich obiger Spulen beobachteten Minimumsbreiten Δ eingetragen sind (Maßstab für Δ: 1 Teilstr. $= 6{,}3$ auf 100000). Man erkennt verschiedene Minima von Δ, d. h. Maxima der Einstellungsgenauigkeit; sie liegen bei den den Eigentönen des Telephons entsprechenden Frequenzen. Der Verlauf der Kurve ist also im wesentlichen durch Eigenschaften des benutzten Telephons bedingt. Besonders scharf sind die Eigentöne 2130 und 4750 ausgeprägt. In dem Bereich von etwa 2400 bis 3300 und 4400 bis 4650 ist die Empfindlichkeit so gering, daß hier nur durch Häufung der Einstellungen

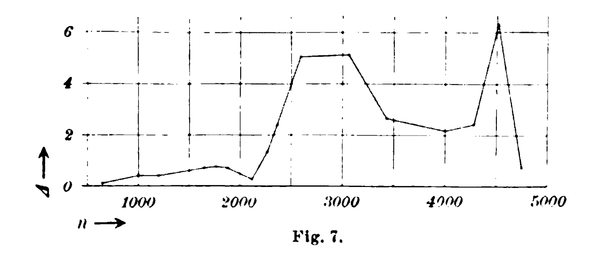


Fig. 7.

annähernd gleiche Genauigkeit wie bei den übrigen Frequenzen erreicht werden konnte[1]). Oberhalb 4750 nahm die Empfindlichkeit des Telephons schnell und beträchtlich ab, ebenso unterhalb etwa 500, sodaß bei niedrigen Frequenzen genauer mit den Vibrationsgalvanometern beobachtet wurde. Beim Vergleich der kleinsten Spulen (10^6 und 10^5 *cm*) war die Einstellungsgenauigkeit geringer; hier wurde meist nur bei den den Eigentönen des Telephons entsprechenden Frequenzen gemessen. Dagegen war sie beim Vergleich gleicher Spulen in fast allen Dekaden[2]) etwa 3- bis 4-mal so groß als bei Messungen im Verhältnis 1:10.

Noch genauer, als oben angegeben, lassen sich die Einstellungen ausführen (hinreichende Maschinenleistung vorausgesetzt), wenn man die Widerstände w_3, w_4 etwa von gleicher Größe wählt, wie die Impedanzen der Zweige 1 und 2. Diese Widerstände haben nur deshalb sehr kleine Beträge erhalten, um schwer bestimmbare Korrektionen wegen ihrer Eigen- und Erdkapazität zu vermeiden. Diese Maßregel ist jedoch nur notwendig, wenn man, wie hier, neben der Selbstinduktionsvergleichung auch eine genaue Vergleichung der Spulenwiderstände ausführen will.

Es mag erwähnt werden, daß die genaue Einstellung mit dem Telephon bei den hohen Tönen einige Übung voraussetzt und selbstverständlich ein sehr ruhiges Zimmer sowie Fernhaltung des Sirenentones. Ungeübte Beobachter fanden ein 2- bis 3-mal breiteres Minimum, als oben angegeben.

10. Meßresultate.

a) Selbstinduktionsmessung; Bestimmung der Eigenkapazität von Spulen.

Zunächst wurde die Gl. 6) (*S. 9*), d. i. die Wiensche Annahme über die Wirkung der Spulenkapazität, geprüft. Tab. VI enthält für eine größere Zahl verschiedener Frequenzen die beim Vergleich der beiden Spulen N_8 und Nr. 42 (10^8 und 10^7 *cm*) beobachteten Werte $\frac{w_3}{w_4}$ (Spalte 2). Nach der Methode der kleinsten Quadrate sind mit Gl. 6) die wahrscheinlichsten Werte $\left[\frac{L_1}{L_2}\right]$ und $[C] = c_1 - \frac{c_2}{10}$ berechnet. Dabei ist den Beobachtungen bei allen Frequenzen die gleiche Genauigkeit beigelegt, was nicht ganz zutrifft (vgl. Fig. 7). Spalte 4 enthält die mit dem Mittelwert $\left[\frac{L_1}{L_2}\right]$ für jede Frequenz einzeln berechneten Kapazitätswerte C; diesen kommt naturgemäß bei niedrigen Frequenzen eine viel geringere Genauigkeit zu als bei hohen Frequenzen, entsprechend der Größe der in Spalte 3 enthaltenen Differenzen $\frac{w_3}{w_4} - \left[\frac{L_1}{L_2}\right]$, die im Max. 0,58 % betrug. In Spalte 5 endlich sind die mit dem Mittelwerte $[C]$ und den beobachteten Verhältnissen $\frac{w_3}{w_4}$ für jede Frequenz einzeln berechneten Verhältnisse $\frac{L_1}{L_2}$ eingetragen. Spalte 6 gibt die Differenz der Einzelwerte $\frac{L_1}{L_2}$ gegen den Mittelwert $\left[\frac{L_1}{L_2}\right]$ in Millionteln.

---

[1]) Man könnte auch Telephonmembranen mit verschiedenen Eigentönen verwenden. Da es zweckmäßig ist, die Messungen bei verschiedenen Frequenzen schnell nacheinander auszuführen, so wurde auf das bei abgeschütztem Telephon zeitraubende Auswechseln der Membran verzichtet.

[2]) Nur bei den 1 Henry-Spulen nicht, wegen zu geringer Maschinenleistung.

Tabelle VI.

$L_1 = N_8 = 10^8\ cm$
$L_2 = 10^7\ cm$. Nr. 42

Mittel: $\left[\frac{L_1}{L_2}\right] = 9{,}92194$

$[C] = c_1 - \frac{c_2}{10} = 64{,}5 \cdot 10^{-12}$ Farad

1	2	3	4	5	6
	$\frac{w_3}{w_4}$	$\frac{w_3}{w_4} - \left[\frac{L_1}{L_2}\right]$	$C = \dfrac{\frac{w_3}{w_4} - \left[\frac{L_1}{L_2}\right]}{\omega^2 L_1 \frac{w_3}{w_4}}$ 10^{-12} Farad	$\frac{L_1}{L_2} = \frac{w_3}{w_4} - \omega^2 L_1 \frac{w_3}{w_4} \cdot [C]$	$\left[\frac{L_1}{L_2}\right] - \frac{L_1}{L_2}$ Milliontel
50	9,92216	0,00022	—	9,92216	—
290	09	15	(40)	188	+ 6
435	26	32	(40)	178	+ 16
632	76	82	(50)	175	+ 19
978	9,92463	0,00269	70	222	— 28
1187	560	366	66,3	204	— 10
1397	685	491	64,2	192	+ 2
1609	853	659	64,9	199	— 5
1684	916	722	65,0	199	— 5
1758	968	774	63,9	187	+ 7
1875	9,93075	881	63,9	187	+ 7
2032	255	0,01061	65,5	211	— 17
2130	344	150	64,6	197	— 3
2264	495	301	64,7	199	— 5
2380	627	433	64,5	195	— 1
2588	841	647	62,7	147	+ 47
2733	9,94055	861	63,5	165	+ 29
2921	396	0,02202	65,7	237	— 43
3060	558	364	64,3	186	+ 8
3430	9,95198	0,03004	65,0	218	— 24
3608	515	321	64,9	217	— 23
3988	9,96214	0,04020	64,3	182	+ 12
4275	804	610	64,1	168	+ 26
4769	9,97964	0,05770	64,4	188	+ 6

Das Resultat ist folgendes: Innerhalb der Meßgenauigkeit ergeben sich C und $\frac{L_1}{L_2}$ unabhängig von der Frequenz. Der mittlere Fehler der einzelnen Messung bei gleichmäßiger Berücksichtigung aller Messungen beträgt 20 Milliontel, der des Resultates $\left[\frac{L_1}{L_2}\right]$ 4 Milliontel. Die größten Abweichungen treten bei denjenigen Frequenzen auf, wo die Telephonempfindlichkeit am kleinsten ist. Damit ist für das Frequenzbereich 50 bis 4800 der Nachweis erbracht, daß die Eigenkapazität einer Selbstinduktionsspule, entsprechend der Wienschen Annahme, als ihren Enden parallel liegend aufgefaßt werden kann.

Das gleiche Resultat ergaben Messungen mit den 4 Hauptnormalen sowie der 1 Henry-Spule Nr. 32 und einigen anderen Spulen. Dabei wurden hauptsächlich die den Eigentönen des Telephons entsprechenden Frequenzen ausgewählt. Bei den kleinsten Spulen sind Messungen unter $n = 1000$ nicht mitgeteilt, weil hier die Meßgenauigkeit unvergleichlich geringer wird. Bei den 1 H.-Spulen ist der Einfluß der Spulenkapazität so groß (die Zunahme von $\frac{w_3}{w_4}$ beträgt bei $n = 2150$ 2% gegenüber

$n = 50$), daß oberhalb etwa $n = 2200$ Messungen mit Genauigkeit von einigen Hunderttausendsteln nicht mehr ausgeführt werden konnten, weil die Frequenz der Wechselstromsirene nicht hinreichend konstant war. Einige Resultate sind in den folgenden Tab. VII bis X zusammengestellt.

Tabelle VII.

$L_1 = N_6 = 10^6\ cm$
$L_2 = N_5 = 10^5\ cm$
mit Zuleit. III, ohne Schutzkästen

Mittel: $\left[\frac{L_1}{L_2}\right] = 10{,}01301$
$[C] = c_1 - \frac{c_2}{10} = 40 \cdot 10^{-12}$ Farad

n	$\frac{w_3}{w_4}$	$\frac{L_1}{L_2}$	$\left[\frac{L_1}{L_2}\right] - \frac{L_1}{L_2}$ Milliontel
1000	10,01288	10,01286	+ 15
2115	322	315	− 14
3980	330	305	− 4
4800	333	297	+ 4

Tabelle VIII.

$L_1 = N_7 = 10^7\ cm$
$L_2 = N_6 = 10^6\ cm$
N_7 in Schutzkasten mit Zuleit. I
N_6 ohne „ „ „ III

Mittel: $\left[\frac{L_1}{L_2}\right] = 9{,}95942$
$[C] = c_1 - \frac{c_2}{10} = 72 \cdot 10^{-12}$ Farad

n	$\frac{w_3}{w_4}$	$\frac{L_1}{L_2}$	$\left[\frac{L_1}{L_2}\right] - \frac{L_1}{L_2}$ Milliontel
990	9,95984	9,95956	− 14
2137	6060	30	+ 12
4015	6408	51	− 9
4810	6586	29	+ 13

Tabelle IX.

$L_1 = N_8 = 10^8\ cm$
$L_2 = N_7 = 10^7\ cm$
in Schutzkästen mit Zuleit. I

Mittel: $\left[\frac{L_1}{L_2}\right] = 9{,}97554$
$[C] = c_1 - \frac{c_2}{10} = 70{,}0 \cdot 10^{-12}$ Farad

n	$\frac{w_3}{w_4}$	$\frac{L_1}{L_2}$	$\left[\frac{L_1}{L_2}\right] - \frac{L_1}{L_2}$ Milliontel
50	9,97537	9,97537	+ 17
342	584	52	+ 2
1011	847	66	− 12
1517	8186	50	+ 4
2100	8775	55	− 1
3035	10,00116	70	− 16
3966	1915	60	− 6
4807	3950	39	+ 15

Tabelle X.

$L_1 = 10^9$ *cm*, Nr. 32
$L_2 = N_8 = 10^8$ *cm*
in Schutzkästen mit Zuleit. I

Mittel: $\left[\frac{L_1}{L_2}\right] = 9{,}96487$

$[C] = c_1 - \frac{c_2}{10} = 109{,}6 \cdot 10^{-12}$ Farad

n	$\frac{w_3}{w_4}$	$\frac{L_1}{L_2}$	$\left[\frac{L_1}{L_2}\right] - \frac{L_1}{L_2}$ Millliontel
342	9,96986	9,96482	+ 5
990	10,00744	500	− 13
1571	10,07258	493	− 6
2156	10,16957	473	+ 14

Diese Messungen zeigen, daß für die 5 Dekaden 10^5 bis 10^9 *cm* in dem untersuchten Frequenzbereich die Wiensche Formel gültig ist, und geben ein Bild von der erreichten Meßgenauigkeit, die 1 bis 2 Hunderttausendstel beim Verhältnis 1 : 10 beträgt. Die Messungen beweisen ferner, daß bei allen jenen Spulen, also auch bei der mit Dolezalek-Litze gewickelten 1 H.-Spule[1]), etwaige Hautwirkung jedenfalls den Wert ihrer Selbstinduktion in meßbarer Weise nicht beeinflußt.

Zum Vergleich seien einige Meßresultate in Tab. XI bis XIV für verschiedene 10^8 *cm*-Spulen[2]) mitgeteilt, bei welchen die Gl. 6) nicht zutrifft. Als Vergleichsspule diente das Hauptnormal N_8. Um die Abweichungen von jener Formel deutlich hervortreten zu lassen, sind aus den bei je 2 verschiedenen Frequenzen gemessenen Verhältnissen w_3/w_4 gemäß Gl. 6a) Werte $c_1 - c_2$ berechnet, die sich, wie man aus den Tabellen ersieht, stark abhängig von der Frequenz ergeben, also nicht Kapazitätsgrößen im Sinne jener Formeln darstellen.

Tabelle XI.

$L_1 = 10^8$ *cm*, Nr. 29 (Dolezalek-Litze)
$L_2 = N_8$

n	$\frac{w_3}{w_4}$	$c_1 - c_2$	
		10^{-12} Farad	berechnet aus den Frequenzen
964	0,998000	35,3	2092/ 964
2092	0,998480	22,9	3921/ 964
3921	0,999308	19,1	3921/2092

Tabelle XII.

$L_1 = 10^8$ *cm*, Nr. 38 (Voll-Draht),
$L_2 = N_8$

n	$\frac{w_3}{w_4}$	$c_1 - c_2$	
		10^{-12} Farad	berechnet aus den Frequenzen
974	0,997647	48,5	2121/ 974
2121	0,998329	40,1	3952/ 974
3952	0,999679	30,8	3952/2121

[1]) *Widerstands*-Erhöhung durch Hautwirkung ist bei dieser Spule vorhanden.
[2]) Vgl. Tab. V.

Tabelle XIII.

$L_1 = 10^8$ *cm*, Nr. 41 (Azetatlitze, bifilar)
$L_2 = N_8$

n	$\frac{w_3}{w_4}$	$c_1 - c_2$ 10^{-12} Farad	$c_1 - c_2$ berechnet aus den Frequenzen
342	0,999641	57,8	342/ 991
991	0,999838	37,4	342/2098
2098	1,000274	33,9	342/4044
4044	1,001810	33,2	342/4716
4716	1,002541	31,5	4044/4716

Tabelle XIV.

$L_1 = 10^8$ *cm*, Nr. 70 (Emaillelitze, 3 × 27)
$L_2 = N_8$

n	$\frac{w_3}{w_4}$	$c_1 - c_2$ 10^{-12} Farad	$c_1 - c_2$ berechnet aus den Frequenzen
50	1,000210	—	—
1019	902	170	50/1019
2145	2022	100	50/2145
4654	4788	54	50/4654

Auffällig ist an den Meßresultaten dieser Tabellen, daß die scheinbare Selbstinduktion aller Spulen schneller mit der Frequenz ansteigt, als die des Normals N_8, während man nach den Untersuchungen von Dolezalek und den Theorien von M. Wien und Sommerfeld bei Vorhandensein von Hautwirkung das Umgekehrte erwarten sollte. Man müßte, um dies zu erklären, für alle 4 Spulen der Tab. XI bis XIV eine wesentlich größere, z. T. über doppelt so große Kapazität als bei N_8 annehmen, was nicht in Einklang steht mit den später mitgeteilten Ergebnissen der Tab. XVI (*S. 47*) und den daraus gezogenen Folgerungen. Schwer verständlich ist ferner der namentlich bei niedrigen Frequenzen schnelle Anstieg der scheinbaren S.-I. für die offenbar unzureichend verdrillte Spule Nr. 70, endlich das eigentümliche Verhalten der Bifilarspule Nr. 41, die aus zwei Wicklungen genau der gleichen Litze wie das Hauptnormal N_8 besteht. Für N_8 gilt Gl. 6), für Nr. 41 nicht, und zwar gleichgültig, ob man beide Wicklungen parallel schaltete oder nur eine der beiden Wicklungen benutzte, während die andere Wicklung offen war. Für Nr. 41 lassen sich die Beobachtungen recht genau darstellen durch die Formel

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{w_3}{w_4} - a\,\omega - b\,\omega^2,$$

die also außer einem mit dem Quadrat von ω zunehmenden Gliede (wie Gl. 6) noch ein der 1. Potenz von ω proportionales Glied enthält. Ähnlich wie Nr. 41 verhielt sich auch die Bifilarspule Nr. 42. Bei den Messungen der früheren Tab. VI spielt dies jedoch keine Rolle, weil dort die Kapazität von N_7 nur mit dem zehnten Teil eingeht.

Das Verhalten der mit Dolezalek-Litze gewickelten Spule Nr. 29 steht nicht in Einklang mit den Ergebnissen der Tab. X für die ebenfalls mit Dolezalek-Litze

gewickelte 10^9 *cm*-Spule Nr. 32. Jedoch ergab sich für die zur Kontrolle mit der gleichen Litze hergestellte Spule Nr. 45, 10^8 *cm*, die Gültigkeit der Gl. 6). Es mag aber bemerkt werden, daß man sowohl bei Nr. 32 wie Nr. 45 bei systematischem Rechnen eine geringe Abhängigkeit ihrer Kapazität von der Frequenz findet. Immerhin lassen sich die Beobachtungen mit einem mittleren Kapazitätswert nahe innerhalb der Beobachtungsfehler durch Gl. 6) darstellen.

Zur einwandfreien Aufklärung der erwähnten Unstimmigkeiten sind weitere Versuche erforderlich. Hier kam es nur darauf an, zu zeigen, daß die 4 Hauptnormale infolge geeigneter Verdrillung im Gegensatz zu anderen Spulen der theoretisch erwarteten, einfachen Gesetzmäßigkeit folgen.

Nachdem in Abschn. 6*b*) nachdrücklich auf die beträchtlichen, durch Erdkapazitäten möglichen Fehler aufmerksam gemacht wurde, ist nunmehr nachzuweisen, daß durch die in der Meßanordnung der Fig. 4 getroffenen Maßregeln jene Fehlerquelle vollständig beseitigt ist. Die Notwendigkeit der Schutzkästen (Fig. 5) ergibt sich daraus, daß die Spulen neben ihrer Eigenkapazität auch eine gewisse, mit ihrer Lage zur Erde sich ändernde Erdkapazität besitzen, die ungleichmäßig über die aufgewickelte Drahtlänge verteilt ist. Offenbar hat die äußerste Lage eine größere Erdkapazität als die innerste. Man kann die Wiensche Annahme dahin modifizieren, daß die beiden Belegungen des gedachten Ersatzkondensators außer ihrer gegenseitigen Kapazität k_{12} auch Kapazitäten k_{10}, k_{20} gegen Erde bezw. gegen die Schutzkästen besitzen. Die Kapazität einer Selbstinduktionsspule ist demnach im allgemeinen erst durch drei Konstanten definiert. Aus den 3 Teilkapazitäten k_{12}, k_{10}, k_{20} setzt sich die „Betriebskapazität" der Spule in verschiedenen Schaltungen in verschiedener Weise zusammen (ebenso wie bei den Zuleitungen, vgl. *S. 37*). Ein Meßbeispiel zeigt, daß diese Vorstellung mit einiger Annäherung der Wirklichkeit entspricht. Für die 1 H.-Spule Nr. 16 wurde gemessen

1. Bei Anschluß der äußeren Spulenlage [1] an den Schutzkasten

$$\text{Betriebskapazität } k_{12} + k_{20} = 59{,}8 \cdot 10^{-12} \text{ F.}$$

2. Bei Anschluß der inneren Lage [2] an den Schutzkasten

$$\text{Betriebskapazität } k_{12} + k_{10} = 65{,}2 \cdot 10^{-12} \text{ F.}$$

3. Beide Lagen miteinander verbunden und vom Kasten isoliert[1])

$$\text{Betriebskapazität } k_{10} + k_{20} = 12{,}0 \cdot 10^{-12} \text{ F.}$$

Aus den 3 Messungen berechnet man

$$k_{12} = 56{,}5 \cdot 10^{-12} \text{ F.} \qquad k_{10} = 8{,}7 \cdot 10^{-12} \text{ F.} \qquad k_{20} = 3{,}3 \cdot 10^{-12} \text{ F.}$$

Ferner wurde die Kapazität derselben Spule *ohne* Schutzkasten in der Brücke der Fig. 4 gemessen. In diesem Falle haben die Teilkapazitäten k_{10}, k_{20}, wie eine nähere Überlegung zeigt, nur einen geringen Einfluß auf die Nulleinstellung, *jedoch nur bei Erdung von D* (*Fig. 4*). Die Messung ergab die Kapazitätswerte[2])

$56{,}8 \cdot 10^{-12}$ F. für äußere Spulenlage an C,
$57{,}6 \cdot 10^{-12}$ F. „ innere „ „ C,

in naher Übereinstimmung mit dem oben gefundenen Wert k_{12}. Die angegebenen Zahlen zeigen, daß die Differenzen der verschiedenen Betriebskapazitäten keineswegs

[1]) Absolut gemessen mit rotierendem Unterbrecher; ohne Schutzkästen war gegen Erde $k_{10} + k_{20} = 9{,}7 \cdot 10^{-12}$ F., ferner für Spule N_8 $7{,}3 \cdot 10^{-12}$ F.

[2]) Für den Selbstinduktionskoeffizienten ergab sich natürlich in allen Fällen genau der gleiche Wert.

klein sind. Für Messungen geringerer Genauigkeit sind immerhin *bei richtiger Schaltung* die Schutzkästen entbehrlich. Für Präzisionsmessungen ist es zweckmäßiger, die Spulenkapazitäten, ebenso wie bei Normalkondensatoren, durch eine Schutzhülle genau zu definieren; dabei ist stets darauf zu achten, welche Spulenlage mit dem Schutzkasten verbunden ist.

Um Spulenkapazitäten richtig zu messen, sind aber nicht allein für die Spulen selbst, sondern auch für alle übrigen Teile der Brückenschaltung wohl definierte Verhältnisse zu schaffen. In der neuen Meßanordnung, Fig. 4, ist dies hinreichend der Fall, wie die folgenden Messungen (Tab. XV) zeigen, bei welchen die beiden 1 H.-Spulen Nr. 32 und Nr. 16 miteinander und mit N_8 verglichen wurden (ebenso Nr. 45 mit N_8 und N_7). Man erhielt so eine überschüssige Messung für die drei S.-I.-Verhältnisse und unabhängig voneinander zwei Werte für die Kapazitätsdifferenz der beiden 1 H.-Spulen, die gut übereinstimmen, ebenso wie die drei S.-I.-Verhältnisse.

Tabelle XV.

	$\frac{L_1}{L_2}$	Fehler jeder Messung bei Ausgleichung Milliontel	$c_1 - \frac{c_2}{10}$ bezw. $c_1 - c_2$ 10^{-12} Farad	
Nr. 16/N_8	10,01400	− 9	94,9	Diff.
Nr. 32/N_8	9,96487	+ 9	113,6	18,7
Nr. 32/16	0,995121	− 9	18,4	
Nr. 45/N_7	9,97430	+ 10	80,1	Diff.
N_8/N_7	9,97554	− 10	70,0	10,1
Nr. 45/N_8	0,999906	− 10	10,4	

Zur Berechnung der Eigenkapazitäten der Spulen *ohne* Zuleitungen aus den Resultaten der Tab. VII bis X ist eine Reihe von Korrektionen zu berücksichtigen, wie folgendes Zahlenbeispiel zeigt. Für die Spulen N_8 und N_7 (mit Zuleit. Nr. I, äußere Lage am Schutzkasten) ist gemessen:

$c_{N_8} - \frac{c_{N_7}}{10}$	$= 70{,}0 \cdot 10^{-12}$	Farad
	− 23,8	Kapazität der Zuleit. Nr. I
	− 5,9	„ „ „ im Kasten (vgl. Fig. 5)
	− 3,4	„ „ Anschlußleitungen (vgl. *S. 38*)
	− 2,2	„ „ inneren Lage gegen Kasten (k_{20}, *S. 45*)
	+ 7,3	$\frac{c_{N_7}}{10}$

Eigenkapazität k_{12} von N_8 $42{,}0 \cdot 10^{-12}$ Farad.

In gleicher Weise ist die Rechnung auch für die andern Spulen durchgeführt (auch auf *S. 45*), wobei die Kapazität von N_5 gleich Null gesetzt wurde. Alle Kapazitätswerte sind in der folgenden Tab. XVI zusammengestellt, in welche außerdem die von Lindemann[1]) für die gleichen Spulen gefundenen Kapazitäten eingetragen sind. Die letzteren wurden durch Bestimmung der Eigenwellenlänge oder Eigenfrequenz der frei schwingenden Spule gemessen, wobei die Selbstinduktion als unabhängig von der Frequenz angesehen wurde.

[1]) R. Lindemann, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* ***12.*** *S. 572. 1910.* Hr. Lindemann teilte mir freundlichst auch einige nicht veröffentlichte Werte von Spulenkapazitäten mit.

Tabelle XVI.

Spule Nr.	Selbstinduktion	Kapazität, in der Brücke gemessen. Frequenz: 50 bis 4800	Kapazität, aus der Eigenfrequenz bestimmt	Eigenfrequenz	
16	10^9 *cm*	$94{,}9 \cdot 10^{-12}$ F.	$95{,}7 \cdot 10^{-12}$ F.	16 300	Kontrollmessungen. Spulen einschl. Zuleitungen in Schutzkästen.
32	10^9	113,6	113,1	15 000	
16	10^9	56,5	55,7	21 300	Spulen ohne Zuleitungen und ohne Schutzkästen.
32	10^9	75,6	75,0	18 400	
N_8	10^8	42,0	43,0	76 800	
N_7	10^7	41	43,1	242 000	
N_6	10^6	27	29,6	925 100	
N_5	10^5	—	24	3 250 000	

Die gute Übereinstimmung der nach verschiedenen Methoden bei sehr verschiedenen Frequenzen bestimmten Kapazitätswerte beweist, daß in dem größtmöglichen Frequenzbereich die verteilte Eigenkapazität einer Selbstinduktionsspule als ihren Enden parallel liegend aufgefaßt werden kann. Die Richtigkeit der durch die vorliegende Untersuchung gefundenen Kapazitätswerte wird durch die Messungen Lindemanns wesentlich gestützt. Die Brückenmethode setzt für eine genaue Bestimmung der Spulenkapazität eine in allen Teilen wohl definierte Meßanordnung voraus, während bei der von Lindemann benutzten Methode keinerlei Apparate an die Spule anzuschließen sind, abgesehen von den induktiv gekoppelten Erreger- und Detektorwicklungen. Kommt es also nur auf die Ermittlung der Kapazität einer Spule und nicht zugleich auch auf eine genaue Selbstinduktionsmessung an, so führt die Messung der Eigenfrequenz leichter und direkter zum Ziel[1]). Freilich ist auch hier, wenn kein Schutzkasten vorhanden, auf den Einfluß der Umgebung (Erde, Tisch) zu achten. Wie aus den früheren Ausführungen folgt, ist der aus der Eigenfrequenz bestimmte Kapazitätswert nicht immer ohne weiteres in andere Schaltungen übertragbar.

Auffällig ist der geringe Anstieg der Kapazität mit der Größe der S.-I. So hat eine Spule von 10^8 *cm* eine noch nicht doppelt so große Kapazität als eine Spule von 1000-mal kleinerer S.-I., obwohl sich die aufgewickelten Drahtlängen wie 50 : 1 verhalten. Es dürfte dies darauf zurückzuführen sein, daß hauptsächlich die Kapazität zwischen je 2 Lagen der Spule in Betracht kommt. Die Gesamtkapazität setzt sich dann zusammen aus der Serienschaltung aller Lagenkapazitäten, muß also bei sonst gleichen Verhältnissen mit der Anzahl der Lagen abnehmen. Durch eine angenäherte Rechnung läßt sich diese Vorstellung zahlenmäßig prüfen. Den durch je zwei Lagen gebildeten Kondensator fassen wir als einen Zylinderkondensator auf, dessen Länge gleich der Breite b der Wicklung ist und dessen Belegungsabstand wir dem Drahtdurchmesser d des isolierten Drahtes gleichsetzen. In der Bezeichnungsweise von Gl. 22) *S. 33* ist somit die Gesamtkapazität der Spule proportional

$$\frac{a \cdot b}{d(\beta - 1)},$$

wo a den mittleren Radius und $\beta = \sqrt{N}$ die Anzahl der Lagen bedeutet. Ferner ist $a = \alpha d$, $\beta = b d$ und $\frac{\beta}{\alpha} = \varepsilon = \frac{b}{a} = \frac{1}{1{,}5}$, letzteres für alle Hauptnormale gleich

[1]) Auch Campbell (*Phil. Mag.* **19.** *S. 497. 1910*) gibt diese Methode an, ohne jedoch den Nachweis für die Gültigkeit der Wienschen Formel für das ganze Frequenzbereich zu erbringen.

groß, also die Kapazität proportional $a:(1 - 1/\beta)$. Die folgende Tab. XVII zeigt in der Tat, daß die gemessenen Kapazitätswerte für die 4 Hauptnormale in nahe der gleichen Weise mit der S.-I. ansteigen wie der Ausdruck $a:(1 - 1/\beta)$, also bei Spulen mit vielen Lagen etwa proportional dem mittleren Radius der Spule zunehmen. Im wesentlichen dürfte demnach die oben gemachte Annahme zutreffen.

Tabelle XVII.

Spule	Mittlerer Radius a mm	Anzahl der Lagen β	$\frac{a}{1-\frac{1}{\beta}}$	Gemessene Spulenkapazität
N_8	49,7	33	51	$42{,}5 \cdot 10^{-12}$ F.
N_7	46,2	19	49	42
N_6	31,6	12	34	30
N_5	21,9	7	26	24

Endlich seien noch einige Meßresultate für kleine S.-I.-Spulen (10^6 und 10^5 *cm*) mitgeteilt, aus denen hervorgeht, daß die hier hauptsächlich zu beachtenden Korrektionen wegen der S.-I. des Widerstandes w_1' u. s. w. [vgl. Gl. 23) *S. 38*] in einer gut definierten Meßanordnung recht genau bestimmbar sind. Die 6 Spulen Nr. $43_{\rm I}$, $43_{\rm II}$ (10^6 *cm*) und N_5, $44_{\rm I}$, $44_{\rm II}$, $44_{\rm III}$ (10^5 *cm*) wurden bei der Frequenz 2130 in verschiedenen Kombinationen miteinander verglichen. Die Tab. XVIII enthält die direkt beobachteten, die mit Gl. 23) korrigierten Verhältnisse sowie die durch Ausgleichung gefundenen Fehler jeder Messung.

Tabelle XVIII.

	Gemessenes Verhältnis	Korrigiertes Verhältnis	Fehler Milliontel
$43_{\rm I} : 44_{\rm I}$	9,87088	9,87183	+ 8
$43_{\rm I} : 44_{\rm II}$	9,80455	9,80538	+ 14
$43_{\rm I} : 44_{\rm III}$	10,27994	10,28098	− 12
$43_{\rm I} : N_5$	10,02170	10,02296	− 9
$43_{\rm II} : 44_{\rm I}$	9,88083	9,88179	± 0
$43_{\rm II} : 44_{\rm II}$	9,81457	9,81542	− 9
$43_{\rm II} : 44_{\rm III}$	10,29010	10,29114	+ 1
$43_{\rm II} : N_5$	10,03155	10,03282	+ 8
$N_5 : 44_{\rm I}$	0,985295	0,984938	± 0
$N_5 : 44_{\rm II}$	0,978651	0,978317	+ 3
$N_5 : 44_{\rm III}$	1,026097	1,025738	+ 2

Die Messungen sind unter sehr konstanten Temperaturverhältnissen im Herbst ausgeführt. Man erkennt, daß die angebrachten Korrektionen beim Verhältnis 1 : 10 bezw. 1 : 1 sämtlich annähernd den gleichen Betrag haben. Es kommt also nur auf die geringen Korrektionsdifferenzen, d. h. die geringe S.-I. von geringen Widerstandsdifferenzen in w_1', an. Daher wurden bei einer großen Zahl von Messungen gleicher Spulen die Fehler sehr klein.

b) Widerstandsmessung.

Ungleich schwieriger als die Selbstinduktionsvergleichung ist die genaue Vergleichung der Spulenwiderstände bei hohen Frequenzen ausführbar, weil hier eine ganze Reihe vom Quadrat der Frequenz abhängiger Korrektionen zu beachten ist;

diese sind in der Meßanordnung der Fig. 4 allerdings sehr klein und kommen daher merklich nur in Betracht beim Vergleich der 4 Hauptnormale, deren Widerstandserhöhungen durch Hautwirkung äußerst gering sind und die erreichbare Meßgenauigkeit nur wenig übersteigen. Wir schreiben hier nur die benutzte Formel sowie den Betrag der Korrektion für den bestimmten Fall des Vergleichs von N_8 und N_7 hin [vgl. die Gl. 9) und 14), *S. 10 u. 12*]

$$\left.\begin{array}{ll} \delta w_1 - 10\,\delta w_2 = \varrho - \omega^2 L_1 & \left[2 c_1 w_1 - 2 c_2 w_2 - \left(L_4 - \frac{L_3 L_2}{L_1}\right)\frac{1}{w_4} + \frac{L_2}{L_1} c_4 w_3 - c_6 (w_1' + w_3)\right] \\ \text{für } N_8/N_7 \quad = \varrho - \omega^2 L_1 10^{-9} & [\,5{,}6_2 \;-\; 0{,}7_9 \;-\; 2{,}7_2 \;+\; 0{,}3_0 \;-\; 1{,}6_7\,] \end{array}\right\} \quad 24)$$

Es bedeutet c_4 die Kapazität der beiden Telephonhüllen (Fig. 4) gegen einander, c_6 die des Widerstandes w_1' gegen Erde (Schirme s_3, s_4).

Die Resultate für N_8/N_7 enthält

Tabelle XIX.

für n =	2128	3035	4000	4800
ϱ	0,026	0,115	0,181	0,307 Ohm
$\delta w_1 - 10\,\delta w_2$	0,013	0,088	$0{,}13_4$	0,24 „
$(\delta w_1 - 10\,\delta w_2)\frac{100}{w_1}$	0,04	0,25	0,37	0,67

Die im Maximum zur Beobachtung gelangende Differenz ϱ betrug also nur 0,31 Ohm oder 0,86% von $w_1 = 36$ Ohm. Davon entfallen 0,19% auf obige nicht sehr sichere Korrektionsdifferenzen.

Beim Vergleich von N_7 und N_6 wurde gefunden:

n	4015	4810
ϱ	0,025	0,037 Ohm
$10\,\delta w_2 - \delta w_1$	0,005	$0{,}00_8$ „

Hier sind also die Korrektionen nach Gl. 24) bereits größer als die Beträge der Widerstandserhöhungen durch Hautwirkung. Beim Vergleich von N_6 und N_5 waren nur ganz geringe Differenzen in der Widerstandseinstellung bei der Wechselstrom- und Gleichstrommessung eben wahrnehmbar.

Die absoluten Beträge δw für jede Spule können aus den Relativmessungen nicht berechnet werden. Doch ist es sehr wahrscheinlich, daß bei der geringen Größe der Differenzen $\delta w_1 - 10\,\delta w_2$ auch die Einzelwerte δw_1 und δw_2 sehr klein sind. Dies wird bestätigt durch Versuche, die Lindemann[1]) an den gleichen Spulen mit schnellen elektrischen Schwingungen verschiedener Frequenz ausgeführt hat. Lindemann hat für die Abhängigkeit[2]) des Widerstandes jener Spulen von der Frequenz aus seinen Messungen Formeln, und zwar für jede Spule einzeln, abgeleitet, die, auf niedrige Frequenzen extrapoliert, nahe die auch hier gefundenen Beträge ergeben, wie die folgenden Zahlen für N_8/N_7 zeigen:

n	3035	4000	4800	
$\delta w_1 - 10\,\delta w_2$	$0{,}08_8$	0,13	0,24 Ohm	nach Giebe
	0,089	0,17	0,27 „	nach Lindemann

[1]) *A. a. O.*

[2]) Sie erfolgt nicht quadratisch, was aber bei Brückenmessungen bis $n = 5000$ wegen der überhaupt geringen Widerstandserhöhungen nicht sicher konstatierbar ist.

Die hiernach zulässige Extrapolation von Lindemanns Formel ergibt für die Spule N_8 z. B. bei $n = 4000$ die Erhöhung des Widerstandes 36 Ohm um 0,22 Ohm = 0,6%, bei $n = 5000$ um 0,34 Ohm = 1%, für die kleineren Spulen entsprechend geringere Beträge.

Durch Verwendung mehrfach verdrillter Litze ist also bei den Hauptnormalen der Reichsanstalt die Hautwirkung bis $n = 5000$ auf einen sehr geringen Betrag herabgesetzt, der für viele Messungen praktisch vernachlässigt werden kann. Daß für jene Normale auch bei sehr schnellen elektrischen Schwingungen die Widerstandserhöhungen wesentlich geringer, von anderer Größenordnung sind als bei den käuflichen technischen Normalen, hat Lindemann nachgewiesen.

Alle sonst noch untersuchten Spulen, also auch die mit Dolezalek-Litze gewickelten, zeigten z. T. wesentlich größere Widerstandserhöhungen, wie die folgenden Tabellen ergeben.

Die von Dolezalek zuerst an Volldrahtspulen beobachtete quadratische Abhängigkeit der Widerstandserhöhung von der Frequenz gilt für die meisten Dolezalek-Litzen-Spulen nicht, bei einzelnen angenähert, wie aus den in einigen Tabellen gebildeten Quotienten $\frac{\delta w}{\omega^2}$ ersichtlich ist. An Stelle jener einfachen Gesetzmäßigkeit tritt die folgende

$$\frac{\delta w}{\omega^2} = a + b\,\omega \qquad \text{oder} \qquad \delta w = a\,\omega^2 + b\,\omega^3, \qquad 25)$$

die zuerst von Lindemann bei sehr hohen Frequenzen an den Hauptnormalen beobachtet und ihrer Ursache nach durch dielektrische Verluste erklärt wurde. Diese Annahme, die oben (*S. 11*) näher besprochen ist, wird durch die hier gefundenen Meßergebnisse gestützt. Neben den beobachteten Werten δw sind in einzelnen Tabellen die nach Gl. 25) berechneten eingetragen.

Tabelle XX.

Spule Nr. 45, 10^8 *cm*, Dolezalek-Litze, $w = 26{,}8$ Ohm

n	1024	2086	3990
δw	0,042	0,236	0,959 Ohm
$\frac{\delta w \cdot 100}{w}$	0,15	0,88	$3{,}5_5$
$\frac{\delta w}{\omega^2}$	1,00	1,37	$1{,}53 \cdot 10^{-9}$

Tabelle XXI.

Spule Nr. 29, 10^8 *cm*, Dolezalek-Litze, $w = 21{,}5$ Ohm

n	964	2092	3921
δw	$0{,}35_6$	1,70	6,11 Ohm
$\frac{\delta w \cdot 100}{w}$	$1{,}6_5$	7,9	28,4
$\frac{\delta w}{\omega^2}$	9,8	$9{,}8_5$	$10{,}1 \cdot 10^{-9}$

Tabelle XXII.

Spule Nr. 38, 10^8 *cm*, Volldraht, $w = 22,4$ Ohm

n	974	2121	3952
δw	0,85	3,92	13,6 Ohm
$\frac{\delta w \cdot 100}{w}$	3,8	17,5	61
$\frac{\delta w}{\omega^2}$	22,7	22,0	$22,0 \cdot 10^{-9}$

Tabelle XXIII.

Bifilarspule Nr. 41, 10^8 *cm*, $w = 19$ Ohm

$w_n = w + 12,0 \cdot 10^{-10}\,\omega^2 + 9,4 \cdot 10^{-14}\,\omega^3$

n	991	2098	4045	4716
$12,0 \cdot 10^{-10}\,\omega^2$	0,046	0,209	0,675	1,052 Ohm
$9,4 \cdot 10^{-14}\,\omega^3$	0,023	0,213	1,542	2,442 „
δw berechnet	0,069	0,422	$2,21_7$	$3,49_4$ „
δw beobachtet	0,067	0,424	$2,25_8$	$3,43_5$ „
$\frac{\delta w \cdot 100}{w}$	0,35	2,28	12	18

Tabelle XXIV.

Spule Nr. 32, 10^9 *cm*, Dolezalek-Litze, $w = 105$ Ohm

$w_n = 2,21 \cdot 10^{-8}\,\omega^2 + 2,28 \cdot 10^{-12}\,\omega^3$

n	342	990	1571	2156
$2,21 \cdot 10^{-8}\,\omega^2$	0,102	0,86	2,18	4,05 Ohm
$2,28 \cdot 10^{-12}\,\omega^3$	0,022	0,54	2,19	5,66 „
δw berechnet	0,124	1,40	4,37	9,71 „
δw beobachtet	0,130	1,27	4,47	9,68 „
$\frac{\delta w \cdot 100}{w}$	0,12	1,2	4,2	9,2

Zu den Tabellen ist noch folgendes zu bemerken:

Zu XX und XXI. Spule Nr. 29 zeigt abnorm große Widerstandserhöhung; meist ist diese bei Dolezalek-Litzen-Spulen kleiner, im Minimum wie bei Nr. 45.

Zu XXII. Wahrscheinlich wird auch bei Volldrahtspulen die Beziehung 25) gelten; nur ist bei diesen das Glied $a\,\omega^2$ sehr groß gegen $b\,\omega^3$.

Zu XXIII. Besonders auffällig ist das Verhalten der Bifilarspule (vgl. das entsprechende bei der S.-I.-Messung, *S. 44*). Obwohl mit zwei Litzen genau der gleichen Art wie das Hauptnormal N_8 gewickelt, zeigt sie im Gegensatz zu N_8 große Widerstandserhöhung, die recht genau nach dem Gesetz der Gl. 25) erfolgt. Völlig die gleichen Resultate wurden auch erhalten, wenn nur eine Windung bei offen gelassener zweiter Windung eingeschaltet war, sodaß also in letzterem Falle die prozentische Widerstandserhöhung halb so groß, die absolute ebenso groß ist wie bei Parallelschaltung der Windungen (für dieselbe Frequenz). Eine einwandfreie Erklärung für das eigentümliche Verhalten der Bifilarspulen kann nicht gegeben werden.

Zu XXIV. Die Widerstandserhöhung ist schon bei $n = 2150$ recht beträchtlich. Ebenso verhielt sich die andere, gleichfalls mit Dolezalek-Litze gewickelte 1 Henry-Spule. Nimmt man die Lindemannsche Hypothese als zutreffend an, so berechnet sich nach Gl. 25) und 11), 12) (*S. 11*) für die Phasenabweichung der Eigenkapazität der Spule $\operatorname{tg} \delta = 0{,}03$, $\delta = 1^0 40'$, d. h. annähernd dieselbe Größe, die Lindemann be andern Spulen mit sehr hohen Frequenzen fand. Bei der Bifilarspule läßt sich die gleiche Rechnung nicht ausführen, weil hier die Spulenkapazität eine Funktion der Frequenz ist (vgl. Tab. XIII).

Der Unterschied in dem Verhalten der verschiedenen Wicklungen — Volldraht, einfach verdrillte Dolezalek-Litze, mehrfach verdrillte Emaillelitze — tritt auch schon bei Spulen kleiner S.-I. hervor, was aus der folgenden Tab. XXV für verschiedene Spulen von 10^6 *cm* ersichtlich ist. Viel beträchtlicher werden die Unterschiede bei sehr hohen Frequenzen, wie die in die Tabelle eingetragenen, von Lindemann gemessenen Leistungswiderstände für $n = 300000$ zeigen.

Tabelle XXV.
Selbstinduktion 10^6 *cm*

Spule Nr.	Draht	Gleichstromwiderstand	Proz. Widerstandserhöhung bei $n = 4000$	Leistungswiderstand bei $n = 300000$
69	Emaillelitze, mehrfach verdrillt	1,27 Ohm	etwa 0,05%	10,3 Ohm
27	Dolezalek-Litze, einfach verdrillt	0,44 „	5 „	108 „
40	Volldraht	0,39 „	22 „	152 „

Für Präzisionsnormale der Selbstinduktion ist daher nur mehrfach verdrillte oder verflochtene Drahtlitze und nur unifilare Wicklung zu benutzen.

Charlottenburg, den 18. Januar 1911.

Ein Toepferscher Meßapparat für Spektrogramme.

Von
Dr. F. Goos in Hamburg.

Die Firma O. Toepfer & Sohn in Potsdam hat kürzlich einen Meßapparat zum Ausmessen von Spektrogrammen gebaut, der äußerste Einfachheit im Bau und in der Ausstattung aufweist, und der daher mit verhältnismäßig geringen Kosten hergestellt werden kann.

Das Hauptgestell des Apparates (Fig. 1) bildet ein brückenartiges eisernes Gußstück und ist dem Modell Nr. 9 (Modell I) des Toepferschen Kataloges nachgebildet. Es ist 40 *cm* lang und 17 *cm* breit. Der Apparat kann sowohl horizontal als auch, durch Einschrauben eines Fußes in die Grundplatte, in pultartig gegen den Beobachter geneigter Lage benutzt werden. Die Oberseite des Hauptkörpers ist zu einer guten Ebene ausgebildet, und auf ihr läuft zwischen den beiden Leisten in Schwalbenschwanzführung der als Objekttisch dienende gußeiserne Schlitten. Er ist so leicht wie möglich und zur Vermeidung zu großer Reibung in der üblichen Weise unterarbeitet. Die gleitenden Flächen sind mit zweckmäßig angeordneten Einteilungen versehen, die als kleine Ölreservoire dienen und für genügende Fettung der Gleitfläche sorgen. Bei Schräg-

stellung des Apparates wird die untere Fläche durch eine Feder teilweise entlastet. Als Auflage für die Objekte dient eine Spiegelglasplatte, in deren Mitte in einem Abstand von 2 *mm* der Länge nach zwei parallele Linien eingeätzt sind. Sie liegen genau parallel zur Bewegungsrichtung, dienen zur Orientierung der zu messenden Spektren und machen in vielen Fällen eine Einrichtung zum Drehen und ein Verschieben des Meßtisches senkrecht zur Meßschraube unnötig.

Das Mikroskop wird von einem kräftigen gußeisernen Bügel, der mit der Hinterseite des Hauptkörpers fest verschraubt ist, getragen. Die Gesichtsfeldblende trägt ein einfaches Fadenkreuz, das im Positionswinkel um 90° gedreht werden kann.

Die Mikrometerschraube hat eine nutzbare Länge von 100 *mm*, eine Ganghöhe von 0,5 *mm* und einen Durchmesser von 16 *mm*. Sie ist aus Siemens-Martin-Stahl hergestellt, während die 35 *mm* lange Mutter aus etwas härterem Material, nämlich Gußstahl, gefertigt ist. Die gesamte Gewindelänge der Spindel beträgt 125 *mm*, sodaß bei der Stellung Rev. 0 und Rev. 200 die Mutter 5 *mm* über die Schraube hinausragt, also von den 70 Gängen nur 60 im Eingriff sind. Es hat dies den Zweck, bei Abnutzung der Schraube ein Dickerbleiben der Endpartien zu verhüten. Lager und Widerlager sind in der bei Toepfer üblichen Form ausgebildet. Zur Ablesung der ganzen Umdrehungen dient eine Skale, zur Ablesung der Dezimalen eine in 100 Teile geteilte Trommel mit einem zweckmäßig geteilten kurzen Index, der die sichere Ablesung von $\overset{R}{0{,}001}$ gestattet.

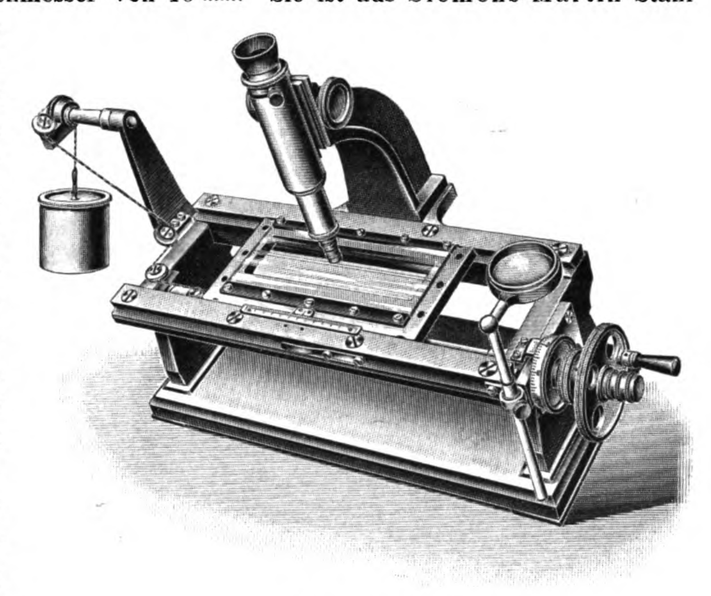


Fig. 1 (1/7 nat. Gr.).

Zur Untersuchung der Schraube auf periodische Fehler diente eine feine Glasskale von C. Zeiss. Die Messung eines Intervalls von $\overset{R}{0{,}5}$ wurde an drei Stellen der Schraube, bei $\overset{R}{33/34}$, $\overset{R}{100/101}$ und $\overset{R}{166/167}$ von $\overset{R}{0{,}1}$ zu $\overset{R}{0{,}1}$ fortschreitend vorgenommen. Folgende Tabelle gibt oben die ermittelte Größe des Intervalles und darunter die Abweichungen von diesem Mittel für die verschiedenen Teile eines Schraubenganges. Auf jede Linie wurde mit schrägliegendem Fadenkreuz 8-mal bei 130-facher Vergrößerung eingestellt.

Alle Abweichungen sind äußerst klein; die durchschnittliche Abweichung beträgt $\overset{R}{0{,}00029} = 0{,}00015$ *mm*, die größte Abweichung ist $\overset{R}{0{,}0010} = 0{,}0005$ *mm*. Ein periodischer Verlauf der Abweichnngen ist nicht erkennbar; eine Wiederholung der Messungen bei $\overset{R}{100/101}$ und $\overset{R}{166/167}$ ergab teilweise andere Werte, sodaß die Abweichungen ohne Frage hauptsächlich Meßfehlern zuzuschreiben sind.

Gang	R 33/34	R 100/101	R 166/167
	R 0,5022	R 0,5025	R 0,5027
R R 0,0 — 0,5	— 0,0002	+ 0,0002	— 0,0010
0,1 — 0,6	+ 4	0	+ 1
0,2 — 0,7	— 1	0	— 2
0,3 — 0,8	— 6	— 10	— 3
0,4 — 0,9	0	— 2	+ 1
0,5 — 1,0	+ 4	0	— 2
0,6 — 1,1	+ 2	+ 4	0
0,7 — 1,2	— 1	+ 5	+ 3
0,8 — 1,3	— 2	— 4	+ 5
0,9 — 1,4	+ 2	+ 4	+ 6

Die Schraube ist also, was gleichmäßige Steigung eines Ganges anbetrifft, ganz vorzüglich gelungen und kann praktisch als völlig frei von periodischen Fehlern angesehen werden. Zur Untersuchung der fortschreitenden Fehler der Schraube diente eine auf photographischem Wege hergestellte Kopie eines Gautierschen Gitters. Die feinen Linien wurden bei 43-facher Vergrößerung durch beiderseitige Berührung mit einem einfachen Faden durch 8 Einstellungen (4 Doppeleinstellungen) gemessen. Die folgende Tabelle gibt die Schraubenkorrektionen von 20 zu 20 Gängen.

Gang	Korrektion
0	R 0,0000
20	— 0,0023
40	— 0,0017
60	— 0,0008
80	+ 0,0020
100	+ 0,0043
120	+ 0,0072
140	+ 0,0083
160	+ 0,0075
180	+ 0,0054
200	0,0000

Außerdem sind noch mit Hilfe einer feinen Glasskale die Intervalle von Gang 0 bis 20, 140 bis 160 und 180 bis 200 von 4 zu 4 Gängen für sich untersucht worden. Es zeigt sich, wie es bei der großen Länge der Schraubenmutter (70 Gänge) auch zu erwarten war, daß innerhalb dieser Strecken die Korrektionen ebenso verlaufen, wie es die graphische Ausgleichung der Hauptuntersuchung verlangt. Die ausgleichende Kurve verläuft äußerst glatt (vgl. Fig. 2); man ist an keiner Stelle im Zweifel, wie sie zu ziehen ist. Die durchschnittliche Abweichung der Korrektionskurve von den gemessenen Korrektionen beträgt 0,00026 R, die größte Abweichung 0,00050 R = 0,00025 *mm*.

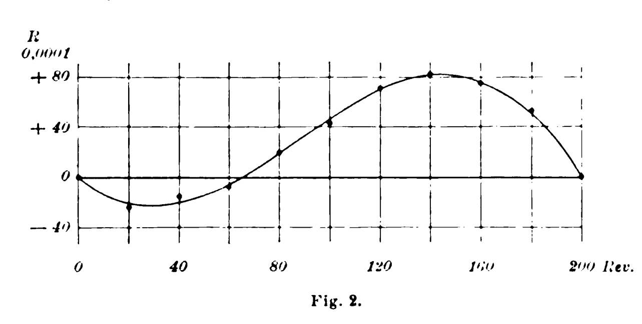


Fig. 2.

Der wahrscheinliche Fehler einer Schraubenkorrektion ist in guter Näherung $\pm \overset{R}{0{,}00021} = \pm 0{,}00010$ *mm*; der wahrscheinliche Fehler der Messung einer feinen, auf photographischem Wege hergestellten Linie bei 43-facher Vergrößerung im Mittel aus 8 Einstellungen beträgt $\pm \overset{R}{0{,}00045} = \pm 0{,}000 22$ *mm*. Hr. Dr. Zurhellen, der seinerzeit in Bonn in gleicher Weise eine Toepfersche Schraube untersucht hat (*Astron. Nachr. Nr. 4105/06*), erhielt denselben Wert $\pm 0{,}00022$ *mm*. Diese Schraube hatte eine Ganghöhe von nur $^1/_4$ *mm*. Es zeigt sich also, daß die gleiche Meßgenauigkeit bei beiden Schrauben erzielt worden ist.

Die zahlreichen Messungen von äußerst feinen, in Glas geätzten Strichen mit einer Mikroskopvergrößerung von 90- bis 130-fach im Mittel aus 8 Einstellungen mit Hilfe eines Fadenkreuzes ergeben eine über doppelt so große Meßgenauigkeit; der wahrscheinliche Fehler einer solchen Messung beträgt nur $^1/_{10}\,\mu$.

Der größte Unterschied in der Ganghöhe der Toepferschen Schraube ist bei den Gängen 80 und 190 vorhanden; er beträgt 0,00020 *mm*, d. h., da die Ganghöhe selbst 0,5 *mm* ist, nur $^1/_{2500}$ dieses Wertes.

Von Gang 40 bis 140 ist die Ganghöhe praktisch unverändert, die Schraubenkorrektionen für diese Strecke sind fast Null. Wie schon erwähnt, verlaufen auf der ganzen Länge der Schraube die Korrektionen vollkommen gleichmäßig, sodaß sie an jeder Stelle mit großer Schärfe als bekannt anzusehen sind.

Aus der Untersuchung geht jedenfalls hervor, daß, sowohl was periodische als auch fortschreitende Fehler anbetrifft, die Schraube von hervorragender Güte ist.

Hamburg, den 5. Januar 1911.

Referate.

Wünsche für Vermessungsinstrumente.

Von P. Kahle. *Zeitschr. f. Vermess.* ***38.*** *S. 752. 1909.*

Der Verf. stellt einige nach seinen Erfahrungen wünschenswerte Änderungen an Vermessungsinstrumenten zusammen, wobei diese Erfahrungen sich besonders auf den Betrieb der Stadtvermessung beziehen und deshalb nicht ohne weiteres für andere Vermessungsarbeiten gelten. Er strebt vor allem geringeres Gewicht der Instrumente und Vereinfachungen bei ihrem Gebrauch an. Ein Repetitionstheodolit von Günther & Tegetmeyer in Braunschweig von 10 *cm* Durchmesser der Horizontalkreisteilung wiegt selbst nur 1,3 *kg*, mit Kasten 2,9 *kg*, mit Stativ und starrem Lot zusammen 7 *kg*, sodaß er, auf das Stativ aufgesetzt, mit *einer* Hand getragen werden kann; in zwei Skalenmikroskopen sind einzelne Minuten angegeben, was für die meisten Anwendungen des kleinen Instruments ausreicht, während für feinere Messungen noch auf 0,1′ geschätzt werden kann. Mit diesem Instrument hat der Verf. sehr günstige Erfahrungen bei der Polygonisierung gemacht. Die dritte Forderung, neben leichteren Instrumenten und mehr Skalenmikroskopen (beim Verf. Schätzmikroskopen) statt Nonien, lautet: größere Verschiebungsmöglichkeit des Theodolit auf dem Stativteller, die vierte: Fernrohre mit aufrechten Bildern; 5. Befestigung des Theodolits auf dem Schiebebrett im Kasten nicht von unten durch eine Zentralschraube, sondern durch Gabel mit Schrauben und Halter von oben; 6. Mollenkopfsche Dosenlibelle, 7. auch an *kleinen* Nivellieren Dosenlibelle sowie Spiegel zur Beobachtung der Hauptlibelle. Der 8. Punkt plädiert für bessere, leichter lesbare Bezifferung der Nivellierlatten, 9. und 10. bringen Vorschläge für die Teilstriche an prismatischen Maßstäben, Zeichenhalbkreisen, bessere Hervorhebung der Fünferlinien an den Transversalmaßstäben, 11. bezieht sich auf Taschenmeß-

bänder. Der Verf. ist, wie er selbst sagt, auf Widerspruch bei einzelnen Punkten gefaßt, und es wäre sehr nützlich, wenn sich die Benutzer geodätischer Instrumente in den so außerordentlich zahlreichen Vermessungszeitschriften viel mehr, als üblich ist, über solche scheinbar unbedeutende Einzelheiten der Einrichtung geodätischer Instrumente aussprechen würden, statt in dieser Beziehung alles den an sich ja jeder Anerkennung werten Bestrebungen unserer deutschen mathematisch-mechanischen Werkstätten zu überlassen.

Um hier eine von der des Verf. abweichende Ansicht zu äußern, möchte ich darauf hinweisen, daß ein gut eingerichteter, vor allem nicht zu langer, mit großem Lupengesichtsfeld ausgestatteter *Nonius* für viele Zwecke dem fortwährender Kontrolle und gelegentlicher Berichtigung bedürfenden Skalenmikroskop vorzuziehen ist: die Genauigkeit solcher Nonien ist kaum geringer als die der Skalenmikroskope, die den Theodolit nicht unbeträchtlich verteuern; die Ablesung am Nonius ist kaum unbequemer, der Nonius dagegen nicht veränderlich wie das Skalenmikroskop, und vor allem ist (und dies kann in manchen Fällen für sich allein den Ausschlag geben) der Nonius so gut wie unverletzbar. Ich glaube nicht, daß sich außerhalb der Kleintriangulation und der Zugmessung der Gebrauch des Skalenmikroskops am Theodolit noch wesentlich weiter verbreiten wird; für „Bauplatztheodolite" z. B. wäre es jedenfalls wenig an seinem Ort. Dagegen wäre z. B. in der *Tachymetrie* allerdings der Nonius vielfach durch ein kleines Mikroskop zu ersetzen, aber nicht das Skalenmikroskop, sondern das *Strich*-Mikroskop, das keiner Berichtigung bedarf, und mit dem der mittlere Fehler der auf 1′ gemachten Kreisablesung schon an ganz kleinem, in $^1/_6{}^0$ zerlegtem Kreis auf fast $^1/_4{}'$ herabgebracht ist. *Hammer.*

Automatische Kreisteilmaschine.

Von W. R. Stamper und E. E. Hall. *Phys. Rev.* ***30.*** *S. 492. 1910.*

Das physikalische Institut der Universität von Kalifornien hat im Jahre 1906 durch seinen Mechaniker W. R. Stamper eine automatische Kreisteilmaschine entwerfen und bauen lassen, über deren Einrichtung folgendes mitgeteilt wird. Die Maschine arbeitet mit Schneckenantrieb. Rad und Schnecke sind von Brown & Sharpe angefertigt. Das Rad mit 360 Zähnen wiegt bei rd. 60 *cm* Durchmesser ungefähr 68 *kg* und ist auf einer kräftigen, konischen Hohlachse aus gut getempertem Maschinenstahl befestigt, welche durch eine Gegenschraube unter Zwischenschaltung einer Stahlkugel entlastet ist. In den gleichfalls konischen Hohlraum der Achse werden die Zentrierzapfen zum Befestigen der zu teilenden Kreise eingesetzt. Die Buchse ist wieder aus gut getempertem Gußstahl gefertigt, und sämtliche Lauf- und Ansatzflächen derselben sind mit Ölstein geschliffen. Als Schmiermaterial dient feinstes Uhrenöl. Die Schnecke ist allseitig justierbar neben das Rad montiert. Rad und Schnecke sowie der radial und in der Höhe verstellbare Ständer für das Reißerwerk sind auf einem gemeinsamen eisernen Bett befestigt. Die Radialverschiebung des Reißerwerk-Ständers ist so bemessen, daß Kreise bis zu 1,7 *m* Durchmesser geteilt werden können. Nach den beigegebenen, nicht sehr deutlichen Skizzen muß das nur an den Enden unterstützte Bett eine nutzbare Länge von mindestens 1,20 *m* haben. Der Reißerwerk-Ständer samt Zubehör wird daher je nach seiner Stellung auf dem Bett verschiedene Durchbiegung desselben verursachen. Der Ständer trägt eine lange, verschieb- und feststellbare, horizontale Hohlwelle, an deren dem Teilkreis zugekehrten Ende das Reißerwerk befestigt ist. Durch die Hohlwelle läuft eine Achse, welche das Reißerwerk durch einen Schnecken-Eingriff in Bewegung setzt. Der Antrieb des Stichels erfolgt somit durch Drehung der genannten Achse. Die Regelung der Strichlänge geschieht nicht in der üblichen Weise durch unmittelbare Begrenzung des Stichelhubs, sondern durch veränderliche Blockierung der Winkelbewegung der Antriebsachse, bezüglich deren Einzelheiten auf die Quelle verwiesen werden muß. Die Antriebsachse muß zur Betätigung des Reißerwerks vor- und rückwärts gedreht werden. Beim Teilen kleinerer Durchmesser ist die freitragende Länge der Hohlwelle so groß, daß erhebliche Schwankungen der Stichelstellung zu befürchten sind. Der Antrieb der Schnecke wie des Reißerwerks erfolgt durch einen Elektromotor von $^1/_2$ PS bei 1800 Touren pro Minute. Dabei ist die

Übersetzung so angeordnet, daß in zwei Sekunden ein Strich gezogen wird. Eine Kreisteilung in ganze Grade würde somit nur 12 Minuten erfordern. Die Schaltung der Schnecke und des Reißerwerkes erfolgt durch ein ziemlich verwickeltes Vorgelege. Es enthält als wesentliches Element ein elektromagnetisch umsteuerbares Kegelrad-Wendegetriebe. Die Schneckenrad-Welle ist außerdem mit einem Zählwerk verbunden, welches nach Fertigstellung der vorher einzustellenden Strichzahl eine Klauenkupplung elektromagnetisch löst und die Maschine still setzt.

Die Maschine ist von E. E. Hall auf ihre Genauigkeit untersucht worden. Dabei wird erwähnt, daß eine anfangs vorhandene Exzentrizität des Schneckenrades durch Einlegen eines Streifens Platinfolie in die Buchse „fast" behoben wurde. Die Teilfehler wurden durch eine optische Methode festgestellt. Auf der Maschinenachse war ein Metallspiegel befestigt, ihm gegenüber in 20 *m* Entfernung eine beleuchtete Skale. Durch ein Fernrohr wurde die Winkelbewegung von einer Schneckendrehung gemessen und dann der Spiegel auf die Anfangsablesung zurückgedreht. So wurde der Verlauf der Teilungsfehler sowohl von Grad zu Grad als auch für Sechstel-Grad innerhalb einer Schneckenumdrehung festgestellt. Die Untersuchung ergab für die Gradteilung einen Maximalfehler von 8 Bogensekunden. Der periodische, von Sechstel- zu Sechstelgrad untersuchte Fehler, der natürlich von der Teilung des auf der Schnecke sitzenden Sperr-Rades mit beeinflußt ist, hielt sich innerhalb einer Sekunde. Beim Betrieb der Maschine stellte sich heraus, daß der Staub und die ungleiche Verteilung der Ölschicht die Genauigkeit der Maschine sehr mindern können.

Ein endgültiges Urteil über die Kreisteilmaschine ist durch die wenig eingehende Art der Beschreibung und die Unvollständigkeit der Zeichnungen erschwert. Eine in der Abhandlung erwähnte Figur fehlt ganz. Einen Fortschritt gegenüber den bisherigen Konstruktionen wird man schwerlich feststellen können. *G.*

Eine schnell wirkende Quecksilberluftpumpe.

Von M. Moulin. *Journ. de phys.* **1.** *S. 60. 1911.*

Eine Ausführungsform der Pumpe ist im Querschnitt in zwei verschiedenen Phasen des Betriebes in Fig. 1 u. 2 und in Fig. 3 in Ansicht dargestellt. Die Pumpe ist im Prinzip eine Kolbenpumpe, bei welcher die Dichtung gegen Gas durch Quecksilber erfolgt, das infolge seiner Trägheit sich zwischen Kolben und Wand im Verhältnis zur Betriebsgeschwindigkeit der Pumpe (60 bis 100 Kolbenzüge in der Minute) nur langsam bewegt.

Der Kolben wird durch eine Glocke C gebildet, welche das fest angeordnete Verbindungsrohr t zum Rezipienten umspannt. Die Verbindung zwischen der Glocke C und dem Rohr t ist keine starre, vielmehr hat die Glocke C in vertikaler Richtung eine geringe Bewegungsfreiheit, welche in der aus den Fig. 1 u. 2 ersichtlichen Weise durch zwei mit Kautschuk gepolsterte Anschläge E und B begrenzt wird.

Die Glocke C vertritt nun bei der abgebildeten Pumpe zwar den Kolben, wird aber, abgesehen von dem kleinen Hin- und Hergang zwischen den Anschlägen, nicht selbst bewegt. Der Betrieb der Pumpe erfolgt vielmehr dadurch, daß umgekehrt der die Glocke mit einem Spielraum von 0,1 bis 0,2 *mm* umspannende Zylinder A von Hand oder mit Hilfe eines Motors auf- und abwärts bewegt wird. Dabei ist das Gewicht dieses Zylinders A so abgeglichen, daß es die Wirkung des äußeren Luftdrucks, der den Zylinder in die Höhe treibt, teilweise kompensiert. Der Zylinder A ist bis zum Niveau $m\,n$ mit Quecksilber gefüllt. Ein Eintreten des Quecksilbers in das zum Rezipienten führende Rohr t wird durch ein Rückschlagventil b verhindert.

Das Spiel der Pumpe ist folgendes: Wird der Zylinder A abwärts bewegt, so nimmt er zunächst die Glocke C bis zum Anschlag E mit; die Glocke C wird dadurch nach oben hin luftleer abgeschlossen. Indem das Quecksilber nun aus der Glocke C ausfließt und sich im unteren Teile von A ansammelt, entsteht innerhalb der Glocke C ein luftleerer Raum. In einem gegebenen Augenblick werden hierbei die Öffnungen d frei, welche eine Verbindung zwischen dem Rohr t und dem Innern der Glocke herstellen, und ein Teil der Luft

tritt aus dem Rezipienten in die Glocke über. Nun wird *A* wieder gehoben, das Quecksilber steigt wieder in die Glocke hinein, komprimiert das dort angesammelte Gas, hebt endlich die Glocke bis zum Anschlag *B* und treibt nun das Gas durch den ringförmigen, mit Quecksilber gefüllten Raum *F* durch die Öffnungen *p*, die zur Vermeidung des Umherspritzens von Quecksilber noch mit einer kleinen Glocke *i* überdeckt sind. Das Gas sammelt sich schließlich in dem ringförmigen Raum *H* an, aus dem es durch die Öffnungen *h* nach außen gelangen kann. Das Außerbetriebsetzen der Pumpe erfolgt in der Phase, welche die Fig. 1 angibt. Eine andere Schlußstellung bringt zwar keine Gefahren für die Pumpe und den Rezipienten mit sich, kann aber leicht zu einer Verschlechterung des erreichten Vakuums führen.

Fig. 1.

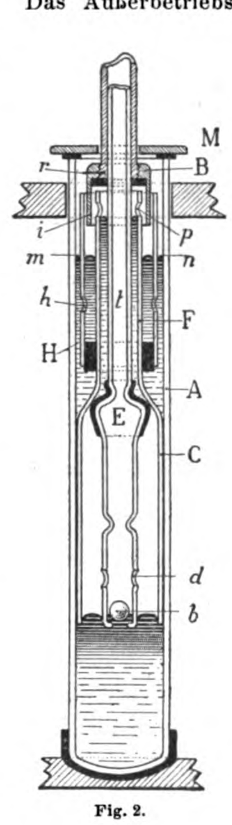


Fig. 2.

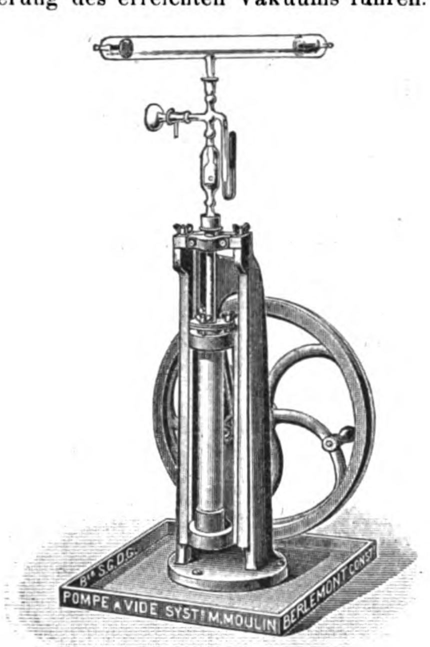


Fig. 3.

Die beschriebene Pumpe wird ganz aus Glas gefertigt; ihre Demontierung, Reinigung und Neumontierung geht sehr leicht vor sich, wie in der Veröffentlichung näher beschrieben ist.

Das abgebildete Modell der Pumpe gebraucht zum Betriebe 2 *kg* Quecksilber und arbeitet ohne Vorpumpe. Ein Rezipient von 1 *l* Inhalt wird von Atmosphärendruck bis auf 1 *mm* Druck in 3 Minuten, bis auf 0,01 *mm* in 4 Minuten evakuiert. Das erreichbare Vakuum wird zu 0,001 *mm* angegeben. *Schl.*

Das Thermoelement als Präzisionsthermometer.

Von W. P. White. *Phys. Rev.* ***31.*** *S. 135. 1910.*

Prüfung von Kupfer-Konstantan-Elementen.

Von W. P. White, H. C. Dickinson und E. F. Mueller. *Ebenda* ***S.*** *159.*

In der ersten Arbeit sucht der Verf. darzulegen, daß das Thermoelement, insbesondere das Kupfer-Konstantan-Element, beim Gebrauch in niederen Temperaturen, z. B. bei kalorimetrischen Arbeiten, dem Widerstandsthermometer gleichwertig ist. Er diskutiert eingehend die verschiedenen Fehlerquellen, die bei Benutzung des Thermoelements möglich sind, und zwar für den Fall, daß eine Meßgenauigkeit von 0,0001° C. angestrebt wird. In erster Linie kommt

hierbei die Inhomogenität des Drahtes in Betracht. Dieselbe ist, wie der Verf. schon früher[1]) betont hat, und wie auch sonst bekannt ist, vor allem an den Stellen des Thermoelements von Einfluß, wo ein Temperaturgefälle vorhanden ist. Ähnlich wie Inhomogenitäten wirken Umwandlungserscheinungen, wie sie z. B. bei Thermoelementen, deren einer Schenkel aus Nickel besteht, in der Nähe von 300° C. auftreten. Bei der Messung von Temperaturen über 300° hat immer ein Punkt des Elementes die Umwandlungstemperatur. Diese Stelle muß ähnlich wie eine inhomogene Stelle als eine zweite Lötstelle wirken. Da der Einfluß der an dieser Nebenlötstelle auftretenden Thermokraft um so mehr verschwindet, je größer die an der Hauptlötstelle auftretende Thermokraft ist, d. h. für die vom Verf. betrachteten Elemente, je höher die Temperatur der Hauptlötstelle ist, so kann man wohl mit dem Verf. sagen, „daß die resultierende thermoelektrische Kraft des ganzen Elementes *allmählich* in die charakteristische Form übergeht, die der umgewandelten Substanz entspricht". Streng genommen erscheint indessen diese Ausdrucksweise als der Sachlage nicht entsprechend, da die an der Umwandlungstelle auftretende Thermokraft bei sämtlichen Temperaturen der Hauptlötstelle in gleicher Weise additiv in die gesamte Thermokraft des Elementes eingeht. Die Umwandlungserscheinung kann, wie der Verf. betont, auch noch durch die latente Wärme störend wirken, die bei der Umwandlung der Lötstelle auftritt.

Um die Konstantandrähte auf ihre Homogenität zu untersuchen, benutzt der Verf. den in Fig. 1 dargestellten einfachen Apparat. In einem durch ein Wasserbad erhitzten Ölbad wird der zu prüfende Draht von einer Trommel abgewickelt, wobei an der Oberfläche des Bades sämtliche Stellen des Drahtes nacheinander in ein Temperaturgefälle kommen. Das zweite aus dem Ölbade herausführende Drahtende bleibt dabei in unveränderter Lage, was dadurch erreicht wird, daß dasselbe nicht von der Trommel, sondern von ihrer Achse abgewickelt und der sich abwickelnde Draht im Bade, z. B. in Form einer Spirale, untergebracht wird. Durch Messung der beim Abwickeln des Drahtes auftretenden Thermokräfte wird die Größe der vorhandenen Inhomogenität ermittelt. Um die bei den ausgewählten Drahtenden noch vorhandenen Inhomogenitäten an den Stellen, die bei der Verwendung als Thermoelement in das Temperaturgefälle kommen, nach Möglichkeit zu eliminieren, kann man zwei Drähte parallel schalten, bei denen die durch Inhomogenität hervorgerufenen Thermokräfte verschiedenes Vorzeichen haben. Auf diese Weise konnte der Verf. den Einfluß der Inhomogenität von 0,1 Prozent der gesamten Thermokraft auf 0,003 Prozent herabdrücken.

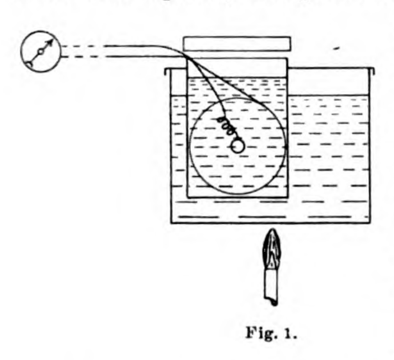


Fig. 1.

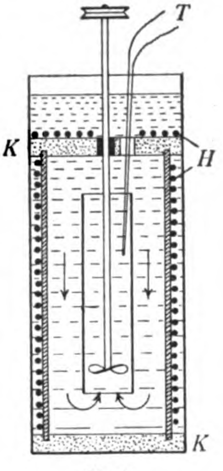


Fig. 2.
K Kork, *H* Heizdraht, *T* Thermoelement.

Für kalorimetrische Zwecke verwendet der Verf. Kupfer-Konstantan-Elemente, die aus vier hinter einander geschalteten Einzelelementen bestehen und daher pro Grad C. etwa 160 Mikrovolt geben. Bei der Benutzung der Elemente wurden zwei von ihnen hinter einander geschaltet.

Das Temperaturbad, das zur Untersuchung der Elemente verwendet wurde (Fig. 2), unterscheidet sich von den sonst üblichen elektrisch geheizten Bädern dadurch, daß auch der Deckel elektrisch geheizt ist, und daß sich über demselben eine Flüssigkeitsschicht befindet, die nur durch eine möglichst kleine Öffnung mit dem unteren Raum verbunden ist. Die Thermoelemente konnten in diesem Bade 2 *cm* auf- und abwärts bewegt werden, ohne daß sich ihre Anzeige bei 100° C. um mehr als 0,001° C. änderte, ein Beweis für die gute

[1]) Vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **27.** *S.* 259. *1907.*

Temperaturverteilung im Bade und den verschwindenden Einfluß der Inhomogenität des Konstantandrahtes. Bei konstanter Eintauchtiefe kann hiernach wohl, wie der Verf. angibt, eine *relative* Genauigkeit von 0,0001° erreicht werden, wobei allerdings mehr als acht Einzelelemente hinter einander geschaltet werden müssen, da bei dieser vom Verf. benutzten Anordnung zur Erreichung der Genauigkeit von 0,0001° C. die Messung von 0,03 Mikrovolt erforderlich wäre. Auch die Hilfsapparate (Kompensationsapparat, Normalelement u. s. w.) gestatten bei genügenden Vorsichtsmaßregeln, diese Genauigkeit zu erreichen. Doch hängt die *absolute* Genauigkeit noch von der zugrunde gelegten Temperaturskale ab, die durch Widerstandsthermometer repräsentiert wird und bei Zimmertemperatur höchstens bis auf 0,001° C. sichergestellt ist. Bei Messung kleiner Temperaturdifferenzen, wie sie die Kalorimetrie erfordert, kommt diese Schwierigkeit natürlich nicht in Betracht. Hier läßt sich die erreichbare Genauigkeit, wie der Verf. bemerkt, noch dadurch vergrößern, daß man die kalten Lötstellen nicht auf 0°, sondern auf einer der Meßtemperatur nahen Temperatur hält.

In der zweiten Arbeit wird die Prüfung von zwei der im vorstehenden erwähnten, aus vier Einzelelementen bestehenden Kupfer-Konstantan-Elemente ausführlicher beschrieben. Die Eichung erfolgte durch Anschluß der Elemente an Widerstandsthermometer des *Bureau of Standards*. Hierbei wurde freilich die relative Genauigkeit von 0,0003°, die nach dem Vorstehenden bei Ablesung der Thermokräfte bis auf 0,1 Mikrovolt und Hintereinanderschaltung der beiden Elemente möglich sein müßte, nicht erreicht. Die kurz aufeinander folgenden Einzelmessungen stimmen zwar meist bis auf diesen Betrag überein. Die an verschiedenen Tagen vorgenommenen Beobachtungen aber weichen auch bei den Beobachtungsreihen, die am einwandfreiesten sind, um weit mehr voneinander ab, bei 40° C. z. B. um etwa 0,005°. Die Verf. glauben jedoch, daß dies weder an den Thermoelementen noch an den Widerstandsthermometern liegt, sondern an der nicht genügend guten Temperaturverteilung in dem zur Prüfung benutzten Wasserbade, das nicht mit dem oben beschriebenen Bade identisch war.

Aus ihren Messungen leiten die Verf. ab, daß sich die Thermokraft des Kupfer-Konstantan-Elementes in dem Gebiete 0° bis 100° C. in Abhängigkeit von der Temperatur durch eine Gleichung dritten Grades mit einer Genauigkeit von mindestens 0,005° darstellen läßt. Eine Formel zweiten Grades reicht nicht aus.

Um mit dem Kupfer-Konstantan-Element im Gebiet 0° bis 100° C. eine Genauigkeit von 0,005° zu erreichen, muß man dasselbe demnach außer bei 100° noch bei *zwei* zwischen 0° und 100° liegenden Temperaturen prüfen. *Mfsr.*

Kohlefadenlampen als photometrische Normallampen.

Von E. B. Rosa und G. W. Middlekauff. *The Electrician* ***66.*** *S. 9. 1910.*

Die Verf. beschreiben Dauerprüfungen, welche sie im *Bureau of Standards* in Washington mit Kohlefadenlampen ausführten, um die günstigsten Bedingungen für die Gewinnung von Normallampen zu photometrischen Zwecken zu studieren. Für die photometrischen Prüfungen bedienten sie sich der folgenden Versuchsanordnung, welche gleichzeitige Messungen zweier Personen an einer und derselben Lampe gestattet. Es sind zwei gleiche Photometerbänke aneinander gerückt; die zu messende Lampe und die mit ihr nahezu gleichgefärbte und gleichkerzige Normallampe werden nacheinander in eine Rotationsvorrichtung eingesetzt, welche in der Mitte des „Doppelphotometers" fest aufgestellt ist. Die beiden parallel geschalteten und auf konstanter Spannung erhaltenen Vergleichslampen, von denen jede mit einem Lummer-Brodhunschen Photometerkopf fest verbunden ist, sind nahe den Enden der Doppelbank verschiebbar angeordnet. Zu den elektrischen Messungen werden zwei Kompensationsapparate benutzt, welche bis auf 0,001% genau zu messen gestatten. Die photometrischen Einstellungen werden in bekannter Weise auf je einem Papierstreifen registriert, der nach jeder Einstellung automatisch um 0,5 *mm* vorrückt. Auf den Registrierstreifen ist eine provisorische Kerzenteilung aufgedruckt. Aus dieser wird auf Grund eines Vorversuches mit 6 Normallampen, welche im Mittel eine bestimmte Lichtstärke (z. B. 16,00 Kerzen) besitzen, nachträglich die für den Versuch gültige Kerzenteilung abgeleitet.

Es ist klar, daß elektrische Meßapparate von der angegebenen hohen Empfindlichkeit für die eigentlichen photometrischen Messungen nicht erforderlich sind. Aber sie gestatten, sehr kleine Widerstandsänderungen zu messen. Aus dem letzteren Grunde verwendet das *Bureau of Standards* diese empfindlichen Apparate seit einem Jahre bei der Vorprüfung der ihm zur Prüfung als Normallampen eingesandten Glühlampen, um diejenigen Lampen, bei denen sich der Widerstand schon in etwa 10 Minuten nach dem Einschalten ändert, als noch nicht genügend gealtert zurückzuweisen, ohne sie überhaupt zu photometrieren. Der Behauptung der Verf., daß durch die Registriermethode sehr wesentlich ($^2/_3$) an Zeit gegenüber dem sonst üblichen Verfahren des Ablesens und Protokollierens gespart wird, kann man nicht beipflichten. Für den Fall, daß der Photometriker seine Ablesungen diktiert, kann die Zeitersparnis nur unwesentlich sein, da nach beendetem Versuch noch eine Korrektion der Kerzenteilung und für jede Lampe eine Mittelbildung aus den von dem Registrierstreifen abzulesenden Lichtstärken vorzunehmen ist.

Bekanntlich werden Normallampen beim Gebrauch entweder auf konstanter Spannung oder konstanter Stromstärke oder konstantem Gesamtenergieverbrauch erhalten. Die Verf. haben nun eine große Anzahl von Lampen zur Entscheidung der Frage untersucht, welche dieser drei Versuchsbedingungen in jedem einzelnen Falle vorzuziehen sei. Die photometrischen Messungen wurden entweder bei konstanter Spannung oder konstantem Energieverbrauch ausgeführt, und es wurden aus den gemessenen Lichtstärken mittels einer empirisch festgestellten Korrektion diejenigen Werte berechnet, die sich unter Zugrundelegung der beiden anderen Versuchsbedingungen ergeben hätten.

Zunächst wurden einige Lampen, welche anscheinend einem Satze gewöhnlicher Handelsware entnommen waren, 150 bis 200 Stunden lang in Dauerprüfung genommen. Das Resultat war ein ungünstiges, da sich die Lampen sehr ungleich verhielten. Zum Teil war dies auf eine sehr schnelle Schwärzung der Glashülle zurückzuführen. Die Verf. ließen deshalb 200 Lampen zu 16 *c.p.* (*candle-power*) und 110 Volt für einen Energieverbrauch von 4 Watt auf 1 *c.p.* (3,6 Watt auf 1 HK) mit größtmöglicher Vorsicht herstellen. Zur Verminderung des Altersbeschlages wurden die Lampen (nach dem Vorgange von Fleming) mit weiteren Glashüllen, als sonst üblich, versehen.

Die Prüfung geschah in folgender Weise. Es wurden 100 Lampen in zwei Serien zu je 50 Stück bei einem Energieverbrauch von etwa 3,5 Watt auf 1 *c.p.* (3,2 Watt auf 1 HK) gealtert und die Lampen der ersten Serie dabei alle 10 bis 15 Stunden bei konstanter Spannung, die in der Nähe von 110 Volt lag, gemessen. Sodann wurden aus dieser Serie 5 Lampen beliebig herausgegriffen und bis zu 250 Brennstunden, d. i. etwa 200 Stunden lang, einer Prüfung auf Konstanz unterzogen; eine der Lampen mußte hierbei als unbrauchbar ausgeschieden werden. Die 4 Lampen verhielten sich bei konstantem Energieverbrauch am günstigsten. Ihre Lichtstärke nahm bei diesem Prüfungsmodus bis zu 208 Brennstunden durchschnittlich um 0,3% gegen den Wert zu Anfang der Konstanzprüfung ab und blieb dann 42 Stunden lang konstant, während die Stromstärke bis zu 208 Brennstunden um 0,16% und schließlich noch um weitere 0,05% sank. Auf konstante Spannung bezogen, betrug bis zu 208 Brennstunden die Abnahme in Licht- und Stromstärke 1,4% bezw. 0,35%. Hinzugefügt möge noch werden, daß die 5 Lampen während des 50- bis 60-stündigen Alterungsprozesses um 2,9 bezw. 0,7% in Licht- und Stromstärke zugenommen hatten. Danach wurden auch die übrigen 95 Lampen auf Konstanz geprüft. Hierbei ergab sich, daß 36 Stück 30 bis 50 Stunden lang nach dem Altern bei konstanter Spannung konstante Lichtstärke und „praktisch“ konstanten Widerstand besaßen, und daß 50 Lampen bei konstantem Energieverbrauch „praktisch“ keine Änderungen in Lichtstärke und Widerstand zeigten. Leider wird bei den 50 Lampen nicht angegeben, wie lange die Untersuchungen durchgeführt wurden, wie groß die Änderungen der Lichtstärke waren und ob dieselben immer im gleichen oder auch im entgegengesetzten Sinne erfolgten.

Die Verf. behaupten, daß bei dem von ihnen angewandten Prüfverfahren ein einzelner Beobachter die Lichtstärke einer Lampe auf etwa 0,2%, den Mittelwert von sechs hinter einander

geprüften Lampen auf etwa 0,1% genau bestimmt, und daß sich die Genauigkeit noch erhöht, wenn, wie es im *Bureau of Standards* geschieht, die Messungen von vier geübten Beobachtern ausgeführt werden. Die angegebene Meßgenauigkeit ist als eine überraschend hohe zu bezeichnen, besonders wenn man bedenkt, daß die Versuche mit rotierenden Lampen ausgeführt sind, bei denen die Zentrifugalkraft eine Rolle spielen kann. Von großem Interesse wäre es gewesen, wenn die Verf. ihren Angaben ziffernmäßige Unterlagen hinzugefügt hätten. Zum Schlusse wird die Behauptung aufgestellt, daß sich die Einheit der Lichtstärke durch einen Satz zuverlässiger Kohlefadenlampen weit konstanter als durch die bisher vorgeschlagenen Einheitslampen auf lange Zeit festhalten läßt. Diese Behauptung ist bereits im vorigen Jahre von anderer Seite (vgl. *diese Zeitschr.* **29.** *S. 264. 1909*) eingehend widerlegt worden.

Das wesentlichste Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen ist die Bestätigung der zuerst von Lummer und Brodhun im Jahre 1890, dann später auch von anderen, z. B. Paterson, festgestellten Tatsache, „daß sich Glühlampen bei richtiger elektrischer Bedienung als vorzügliche konstante Zwischenlichtquellen erweisen“. Gegen die mitgeteilten Versuche ist jedoch einzuwenden, daß man nicht wenigstens bei einem Teil der Lampen die Prüfung so lange fortgesetzt hat, bis sich wieder eine deutliche Abnahme der Lichtstärke feststellen ließ. Ferner ist darauf hinzuweisen, daß die Versuche bei einer nur sehr mäßigen Unterspannung ausgeführt wurden, und daß sich dann naturgemäß nur während eines verhältnismäßig kurzen Zeitraumes hinreichende Konstanz erwarten läßt. Es dürfte sich empfehlen, Lampen, bei denen man einige Gewähr für lang andauernde Konstanz zu haben wünscht, nach dem Vorgange der Reichsanstalt bei einer beträchtlichen Unterspannung zu benutzen. Allerdings brennen sie dann ungefähr so rötlich wie die Hefnerlampe; dieser Übelstand läßt sich aber durch Vorschalten von bläulichen Gläsern vor dem Photometerschirm beseitigen.

E. Lb.

Bücherbesprechungen.

W. Jordan, Handbuch der Vermessungskunde. Erster Band. Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. 6., erweiterte Aufl., bearbeitet von O. Eggert. gr. 8°. IX, 596 u. [21] S. m. Fig. Stuttgart, J. B. Metzler 1910. brosch. 14 M.

Der erste Teil der weit verbreiteten dreibändigen Jordanschen Vermessungskunde, deren 2. Band in 7. Aufl., ebenfalls von Eggert als Nachfolger von Reinhertz bearbeitet, schon 1908 ausgegeben wurde, erscheint hier in 6. Aufl., im Umfang nicht wesentlich vergrößert, aber doch in fast allen Teilen mit neuen Zusätzen versehen, für die durch Kürzung des früheren Textes Raum geschaffen wurde. Über die vorhergehende 5. Aufl. dieses 1. Bandes hat *diese Zeitschr.* **25.** *S. 258. 1905* ein Referat gebracht; es wurde hierbei schon darauf hingewiesen, daß das Werk eigentlich weniger ein allgemeines Lehrbuch der Methode der kleinsten Quadrate vorstellt (obwohl kein Teil dieser Theorie ganz fehlt), als vielmehr eine in alle Einzelheiten eindringende *Anwendung* der Methode der kleinsten Quadrate auf die *Triangulationsarbeiten*, seien es trigonometrische Netze oder Punkteinschaltungen in ein Netz gegebener trigonometrischer Punkte. Der neue Bearbeiter hat an diesem Grundcharakter des Werks selbstverständlich nichts geändert, aber besonders z. B. im II. Kap., Darstellung der Jordanschen Triangulierung des Stadtgebiets von Hannover und der Rechnungsweisen der Preußischen Landesaufnahme, die Näherungsausgleichung im Dreiecksnetz mit Richtungsbeobachtungen erneuert, auch der Ausgleichung von Dreiecksnetzen mit Winkelbeobachtungen einige Zusätze beigefügt; ferner im III. Kap. den Methoden der trigonometrischen Einschaltung von Neupunkten durch „Einschneiden“ z. T. andere Form gegeben und schärfer geschieden zwischen der strengen Ausgleichung und den für die Praxis genügenden genäherten Rechnungsmethoden. Wenig verändert ist das IV. Kap., im wesentlichen ein historischer Überblick über die aufsteigende Linie der Triangulierungsgenauigkeit von Snellius (etwa 1610) und Schickhart (um 1620) an bis auf unsere Tage; dieses Kapitel wird wohl in einer künftigen Auflage eine Vervollständigung durch Berücksichtigung weiterer europäischer

Staaten und anderer Länder erfahren. Im letzten Kapitel (V) endlich, das eine kurze Theorie der Genauigkeitsmaße auf Grund der Wahrscheinlichkeitsrechnung bringt, ist die Theorie des „Maximalfehlers", wie sie die 5. Aufl. noch enthielt, ausgeschieden zugunsten erweiterter Darstellung anderer fehlertheoretischer Untersuchungen, wobei auf *S. 146* hingewiesen sei (Newcombs und Lehmann-Filhés' Behandlung des Falls, daß Beobachtungsreihen Abweichungen vom Gaußschen Fehlergesetz zeigen). Es ist zweifellos richtig, daß die (irgendeine) Theorie des „Maximalfehlers" (bei jeder versagt das Gaußsche Fehlergesetz ganz) *praktisch*, wenigstens *geodätisch-praktisch*, keine große Rolle spielt; aber eine kurze Darstellung der Versuche zur Erkennung und Ausscheidung *„grob"* fehlerhafter Messungen in Reihen von Beobachtungen (der verschiedenen „Kriterien" für die Zufälligkeit der Beobachtungsfehler) wäre wohl manchem Benutzer des Werks trotzdem willkommen.

Das Buch wird auch in der neuen Bearbeitung seine seitherige Wirksamkeit fortsetzen.

Hammer.

Neue Preisliste von F. Sartorius, Vereinigte Werkstätten für wissenschaftliche Instrumente von F. Sartorius, A. Becker und L. Tesdorpf, in Göttingen.

Preisliste der Abteilung IV: Astronomische und erdmagnetische Instrumente. Preisliste A. 22. Ausgabe 1910. gr. 8°. 63 S. m. Illustr.

Die Einleitung der Preisliste bildet eine eingehende Beschreibung der Hauptkonstruktionselemente und eine vollständige Fehlertheorie der Universalinstrumente, in der die wichtigsten Gesichtspunkte für zweckmäßige Anordnung und Ausbildung der einzelnen Teile hervorgehoben und die Unzweckmäßigkeiten anderer, früher gebräuchlicher Einrichtungen begründet sind.

Recht lehrreich ist eine Tabelle der Wirkung etwaiger Achsenfehler auf Messungen von Horizontalwinkeln und Zenitdistanzen. Der Bemerkung, daß auch auf See Reflexionsinstrumente mit Vollkreis und zwei Nonien den Vorzug vor Sextanten und Oktanten verdienen, kann indessen nicht beigepflichtet werden. Diese Äußerung bedeutet eine gänzliche Verkennung der an Bordinstrumente zu stellenden Anforderungen. Nicht zweckmäßig erscheint mir ferner die Beibehaltung des Ausdrucks „Schätz-Mikroskop" für die von Hammer „Skalen-Mikroskop" genannte Ablesungsvorrichtung, da der Name Schätz-Mikroskop nach dem Vorschlage Hammers besser den Mikroskoplupen mit nur einem Indexfaden vorbehalten bleibt.

Es folgen dann Angaben über Refraktor-Montierungen. Bei diesen wird die Stundenachse durch eine Druckrolle, die an einem dem Oberteil dieser Achse angedrehten Konus angreift, derart entlastet, daß die Achsenlager nur den zur Sicherung exakter Bewegung noch nötigen Druck aufzunehmen haben. Außer dieser Rolle und einfachen Gegengewichten für die beweglichen Teile sind keine Entlastungs- und Äquilibrierungs-Einrichtungen vorgesehen, „da nach jetzigen bewährten Erfahrungen alle Komplikationen der Montierung nicht von Vorteil für die Instrumente sind, sobald man eine gewisse Stabilität der Aufstellungs- und Instrumental-Konstanten fordern muß". Es wäre interessant, über die hier erwähnten Erfahrungen, die sich doch nur auf die von verschiedenen anderen Seiten konstruierten weitgehenden Ausbalancierungen beziehen können, mehr zu hören.

Ferner baut die Firma Kometensucher, Meridiankreise und transportable Durchgangsinstrumente mit gebrochenem und geradem Fernrohr. Die letzteren unterscheiden sich nur in Einzelheiten von den üblichen Formen. Besonderes Gewicht wird darauf gelegt, daß bei allen gebrochenen Fernrohren, auch den später zu erwähnenden Universal-Instrumenten, der Objektivteil des Fernrohrs die Befestigungsstücke für das Prisma trägt, sodaß zwischen diesem und dem Objektiv eine möglichst sichere und stabile Verbindung hergestellt ist und eine sichere Gewähr gegen Veränderlichkeit des Kollimationsfehlers geboten wird.

Universal-Instrumente finden sich in verschiedenen Ausführungsformen, mit gebrochenem und geradem zentrischen und geradem exzentrischen Fernrohr, mit und ohne Umlegemechanismus u. s. w. Alle machen den Eindruck, soweit man nach der Abbildung

urteilen kann, besonders solider und stabiler Konstruktion, verbunden mit einem gefälligen Äußeren und zweckmäßiger Anordnung der einzelnen Teile. Es findet sich auch ein kleines Reise-Universal, das nach dem Typus des bekannten und namentlich in unseren Kolonien vielfach bewährten Hildebrandschen Reise-Instruments gebaut zu sein scheint.

Daran schließen sich Höhenkreise und Zenitteleskope und Prismen-Astrolabien nach Claude-Driencourt (vgl. auch *diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 375. 1910*). Sie bieten durch den Fortfall der Libellenablesungen einen nicht unerheblichen Vorteil gegenüber den Zenitteleskopen, denen sie im übrigen, in bezug auf Genauigkeit, Rechenarbeit u. s. w., etwa gleichkommen dürften. Dagegen haben sie den Nachteil, daß nur Gestirne in einer Höhenlage beobachtet werden können, was in Gegenden mit starker Bewölkung die Beobachtungen in die Länge ziehen oder auch ganz vereiteln kann, während das anpassungsfähigere Zenitteleskop noch nicht ganz versagt, obwohl auch für dieses teilweise Bewölkung ein großes Hindernis ist.

Nach der Beschreibung eines Heliostaten und der kurzen Aufzählung von Reflexions-Instrumenten, Heliotropen und anderen kleinen Hilfsapparaten bilden die erdmagnetischen Instrumente den Beschluß. Zunächst wird der magnetische Reisetheodolit, der von Tesdorpf unter Verwertung der Erfahrungen von Haußmann, Eschenhagen, Bauer und vor allem Bidlingmaier konstruiert worden ist, im Anschluß an die Bidlingmaiersche Veröffentlichung darüber beschrieben. Dann findet sich eine vollständige Neukonstruktion, nämlich ein magnetischer Normal-Stations-Theodolit. Es wird dabei, soviel dem Referenten bekannt ist, zum ersten Mal die Börgensche Methode der Konstantenbestimmung mit einer Hilfsschiene, die zu der Ablenkungsschiene senkrecht steht, verwertet. Den Resultaten muß daher mit großem Interesse entgegengesehen werden, um so mehr, als bei dieser Methode aus sehr kleinen beobachteten Längenunterschieden auf die Konstanten geschlossen wird und man infolgedessen geneigt ist, der Methode von vornherein ein gewisses Mißtrauen entgegenzubringen. Auch im übrigen weist der Theodolit viele Neuerungen auf, über deren Zweckmäßigkeit die Beobachtungen auf dem Marine-Observatorium in Tsingtau, für das er gebaut worden ist, Aufschluß geben werden. Zuletzt ist noch das große Inklinatorium nach Eschenhagen mit Verbesserungen von Bidlingmaier aufgeführt. *Dr. E. Kohlschütter.*

Neu erschienene Bücher.

C. Cranz, Lehrbuch der Ballistik. Leipzig, B. G. Teubner.

1. Bd. Äußere Ballistik oder Theorie der Bewegung des Geschosses von der Mündung der Waffe ab bis zum Eindringen in das Ziel. Gleichzeitig 2. u. vollständig umgearb. Aufl. des „Compendiums der theoret. äußeren Ballistik" von 1896. gr. 8°. IV, 464 S. m. 128 Fig. 10 M.; geb. in Leinw. 20 M. — 4. Bd. Atlas für Tabellen, Diagramme und photographische Momentaufnahmen. 37,5 × 25 *cm.* V, 81 S. m. 9 Taf. 1910. Geb. in Halbleinw. 14 M.

H. Starke, Experimentelle Elektrizitätslehre, verbunden mit einer Einführung in die Maxwellsche und die Elektronen-Theorie der Elektrizität und des Lichts. 2., auf Grund der Fortschritte der Wissenschaft umgearb. Aufl. 8°. XVI, 662 S. m. 334 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1910. Geb. in Leinw. 12 M.

F. W. Dyson, *Astronomy. Handy manual for students and others.* 8°. 256 S. m. Fig. London 1910. Geb. in Leinw. 3 M.

Travaux et Mémoires *du Bureau international des Poids et Mesures, publiés sous les auspices du Comité international. Tome 14.* gr. 4°. 633 S. m. Fig. Paris 1910. 12,50 M.

E. Becker, Logarithmisch-trigonometrisches Handbuch auf fünf Dezimalen. 3. Ster.-Ausg. Lex. 8°. XVI, 104 S. Leipzig, B. Tauchnitz 1910. 1,20 M.

G. W. de Tunzelmann, *Treatise on electrical theory and the problem of the universe.* gr. 8°. 686 S. m. Fig. London 1910. Geb. in Leinw. 16 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **F. R. Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Raps**, geschäftsführendes Mitglied,
Dr. **H. Krüss**, Prof. Dr. **R. Straubel**.

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **März 1911.** Drittes Heft.

Ein optisches Planimeter zur Ausmessung von Registrierstreifen sowie für andere rechnerische und graphische Aufgaben.

Von
J. Schnöckel in Berlin.

Das im folgenden beschriebene Instrument[1]) bezweckt hauptsächlich die schnelle und genaue Auswertung der von selbsttätig zeichnenden Registrierapparaten geschriebenen Kurven. Es erspart jede Mittelung oder sonstige Rechnung, denn bei der „optischen Befahrung" einer Kurve, eines Thermogramms, Barogramms u. s. w. gibt das über den Registrierstreifen geführte Planimeter die mittlere Höhe (Ordinate), den Mittelwert, direkt an, ohne daß es noch einer Befahrung der Ordinaten- und Abszissenachse (Null-Linie) bedürfte.

Bekanntlich lassen sich die Registrierstreifen mit allen Präzisionsplanimetern auswerten, indem die Kurve mitsamt den Achsen als Fläche umfahren, der Inhalt berechnet und durch die Abszisse dividiert wird, am passendsten wohl mit dem allerdings teueren Rollplanimeter, dessen Fahrarm jedesmal auf die Abszissenlänge eingestellt werden muß, um Rechnungen möglichst zu vermeiden. Da man aber mit dem optischen Planimeter stark wellenförmige registrierte Kurven bis zu 30 oder 40 *cm* Länge mühelos in ein bis zwei Minuten mit einem mittleren Fehler von weniger als 0,1 *mm* ausmißt, so übertrifft seine Leistungsfähigkeit auch die der kostspieligen Apparate. Es zeichnet sich ferner durch andere mehr oder weniger wertvolle Eigenschaften aus, wie z. B. durch die verschiedenartigen Flächenberechnungsarten, das selbsttätige Zeichnen der mittleren Integralkurve, von Hyperbeln u. s. w. und die Möglichkeit einer perspektivischen Ausmessung großer Flächenstücke (Ledermeßmaschine). Da aber für diese Zwecke bereits andere, zum Teil geeignetere Instrumente im Handel zu erhalten sind, ist in der folgenden Beschreibung hierauf weniger Gewicht gelegt worden.

Der in Fig. 1 in zwei verschiedenen Ausführungen abgebildete, 20 bis 25 *cm* lange Apparat[2]) besteht ähnlich dem Prytzschen Stangenplanimeter aus einem Fahrstab bezw. Fahrrahmen *a a* mit Faden *f*, Index *i*, dem scharfrandigen Rädchen (oder Schneide) *r* und einem über oder neben dem Rade auf einer Brücke befestigten, teilweise durchbrochenen, doppelten Planspiegel *s*, der beim Gebrauch senkrecht steht,

[1]) Das Instrument ist unter der Bezeichnung „optisches Universalplanimeter" zum Patent angemeldet und kann, da es bis jetzt noch nicht im Handel zu haben ist, nur vom Verfasser, Berlin N., Invalidenstraße 42, Königliche Landwirtschaftliche Hochschule, bezogen werden. Der Preis beträgt einschl. Etui 48 M.

[2]) Instrumente der geodätischen Abteilung der Königlichen Landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin.

aber zwecks Verpackung auf den Rahmen herabgeklappt werden kann. Zur Lösung zeichnerischer Aufgaben trägt die Brücke eine Ziehfeder. Die Handhabung weicht, da kein Fahrstift wie bei allen Planimetern vorhanden ist, von der üblichen Methode ab. Dieser wird durch den noch näher zu definierenden „optischen Umfahrungspunkt" gewissermaßen ersetzt.

Zum Gebrauch wird das Instrument auf eine Papierunterlage *p* (Fig. 2 u. 3) gesetzt, welche, wie folgt, entworfen wird[1]). Man mißt den Abstand der Radachse vom Index *i* (gleich *R i*) und bezeichnet in dieser Entfernung vom Papierrande den Punkt *R* durch einen kleinen Kreis, zieht die an den Enden beliebig geschweifte Linie *l* im doppelten Abstande parallel zum Rande und fällt von *R* ein Lot auf *l*, das man verlängert. Eine weniger wichtige, die Verlängerung schneidende, gabelförmige Kurve wird auf Grund einer im zweiten Abschnitt gegebenen einfachen Formel entworfen.

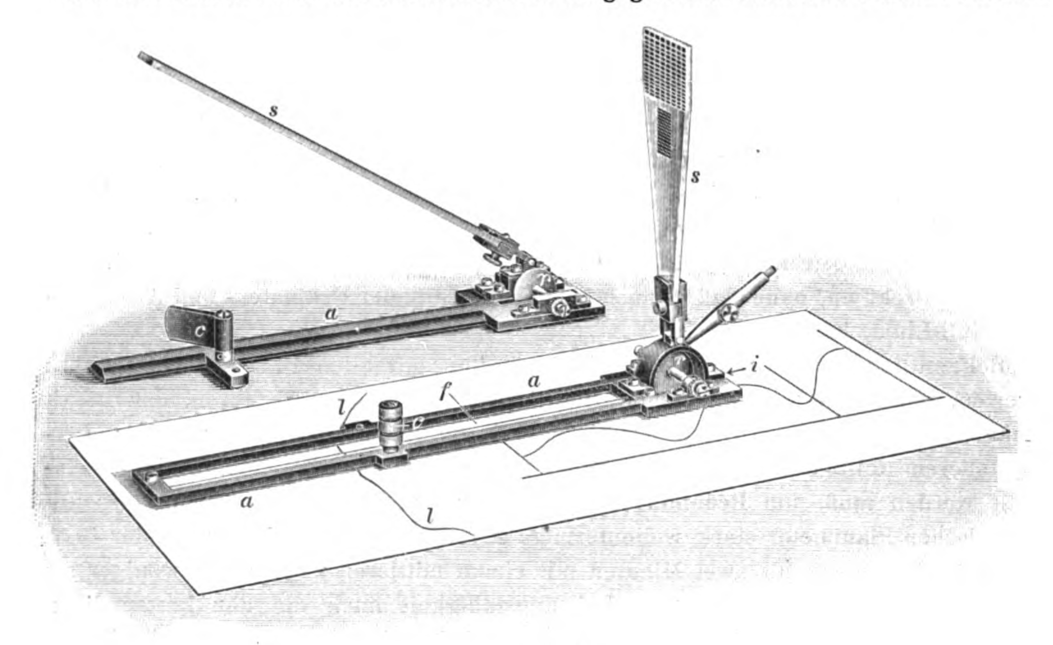


Fig. 1.

Diese Anlage wird so auf den Registrierstreifen (Fig. 2) gelegt, daß der Rand in die Ordinate des Anfangspunktes *U* der auszuwertenden Kurve *k* und letzterer in die Verlängerung des Lotes auf *l* fällt. Das Instrument muß nun mit dem Rädchen in *R* so auf die Anlage gesetzt werden, daß der Faden in die Verlängerung des Lotes und der Index *i* am Planimeter somit auf *U* fällt. Sieht man von einem beliebigen Punkte *B* in den durchbrochenen Planspiegel *s*, so erscheint in *U* das Bild des Schnittpunktes von *f* und *l*, welches „optischer Umfahrungspunkt" heißen möge. Bei Beginn der Befahrung benutzt man den unteren Teil des Spiegels und erst später den oberen, um den Index und die Kurve durch die feinen Unterbrechungen des Silberbelages hindurch deutlich zu erkennen. Der Beobachter bemerkt auch bei schrägen Sichten zwei Bilder des Schnittpunktes von *f* mit *l*, welche einem beweglichen und einem festen Strahl angehören. Der optische Umfahrungspunkt ist das vom Beobachter und Instrument entfernter liegende, dem festen Strahl zugehörige Bild, welches sich auch

[1]) Eine derartige, auf photographischem Wege hergestellte Anlage (Fig. 3) wird dem Planimeter beigegeben.

durch seine Deutlichkeit vor dem beweglichen Bilde auszeichnet. Während der Befahrung müssen Apparat und Registrierstreifen gut beleuchtet sein, und der Faden darf durch den Spiegel nicht beschattet werden. Steht der Spiegel senkrecht, so ändert der optische Umfahrungspunkt seine Lage nicht, wenn man abwechselnd oben und unten in die Spiegelfläche hineinsieht. Jede durch die Führung *c* (s. auch Fig. 1) hervorgebrachte Bewegung des Planimeters verändert dagegen die Lage dieses Punktes, und es ist

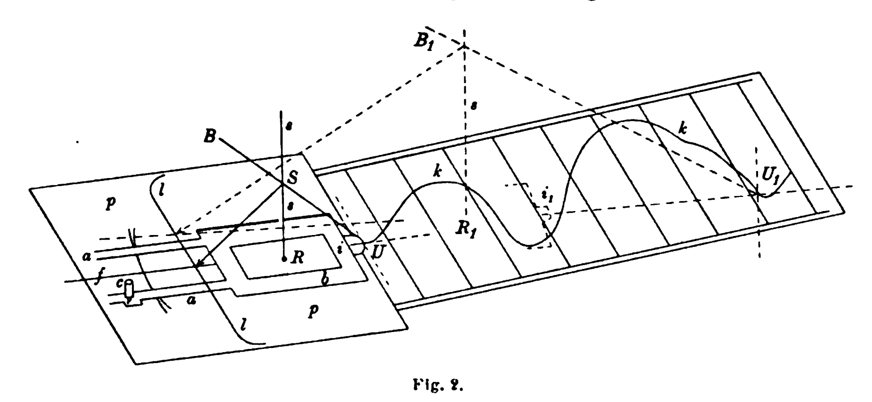


Fig. 2.

sehr leicht, das Instrument so zu führen, daß er die Kurve *k* von *U* bis zum Endpunkt U_1 mit derselben Sicherheit durchläuft, als wenn die Hand den Fahrstift eines Polarplanimeters leitet. Das Auge ist durchschnittlich 10 bis 15 *cm* vom Umfahrungspunkt entfernt, sieht ihn also in günstiger Sehweite und regelt ohne jede Schwierigkeit gleichzeitig die Bewegung des Planimeters selbst. In der Endstellung $s\,R_1\,i_1$ arretiert man das Rädchen *r* in R_1 durch ein auf die Achse wirkendes Hemmungsschräubchen und dreht den Rahmen *a*, bis der Faden *f* durch den Punkt *R* auf der in seiner Anfangslage befindlichen Papierunterlage *p* geht.

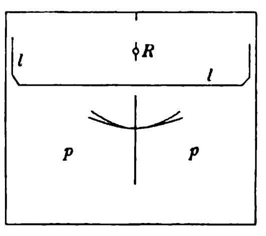


Fig. 3.

Hiermit kann die Aufgabe als gelöst betrachtet werden, da die Ordinate des jetzt in i_1 sich befindenden Index die gesuchte mittlere Ordinate (Höhe) der Kurve *k* zwischen *U* und U_1 ist. Sie kann auf dem Registrierstreifen, der häufig wie bei den meteorologischen Thermogrammen eine Einteilung besitzt, bis auf 0,05 Teilstrich direkt abgelesen werden. Bei einer Länge des Fadens von 20 *cm* kann man Kurven von 4 bis 40 *cm* Länge auf einmal ausmessen. Die Anlage des Papiers *p* in Fig. 2 ist zur Auswertung von Kurven, deren Wellenhöhe nicht groß (etwa unter 10 *cm*), besonders geeignet. Bei Kurven mit einer Wellenhöhe von 15 bis 30 *cm* legt man den Papierrand (Fig. 3) so in die Ordinate des Anfangspunktes *U* (Fig. 2), daß die Verlängerung des Lotes ungefähr durch den leicht abzuschätzenden, gesuchten Punkt i_1 (Fig. 2 u. 4), also mitten durch die Kurve *k* geht[1]). Es kann dann niemals vorkommen, daß F_1 nach der Befahrung in die seitliche Schweifung von *l* fällt, deren Benutzung während der optischen Befahrung nötig sein kann und zulässig ist.

Bei ungünstiger Anlage *p* weicht der Faden *f* in seiner Endlage $R\,R_1$ (Fig. 2 u. 4) stark (mehr als 10°) von seiner Anfangslage *FR* ab und trifft die Gabelung der auf *p* dargestellten Kurve. Es ist dann erforderlich, das Instrument noch in seiner

[1]) Das Planimeter steht anfangs mit dem Rädchen in *R* (Fig. 2) schräg zu *l*, sodaß die optische Befahrung wieder in *U* beginnt.

Eigenrichtung $R R_1$ um das kleine Stück, welches die beiden Zweige der Kurve auf dem Faden abschneiden, weiter vorzuschieben, ehe an dem in i_1 stehenden Index abgelesen wird. Die Veränderung im Wert der mittleren Höhe beläuft sich dadurch höchstens auf einige zehntel Millimeter. Die Verschiebung selbst kann entweder nach Augenmaß oder etwa mit Hilfe eines als Visiermarke dienenden Bleistiftes u. s. w., den man an der betreffenden Stelle quer über den Rahmen legt, vorgenommen werden. Theoretisch richtige Resultate liefert das Planimeter nur, wenn der Schreibstift des Registrierapparates sich nicht auf einem Kreise, sondern auf einer zur Ordinatenachse parallelen Geraden bewegt. Eine daraus entstehende Ungenauigkeit macht sich aber bei den Registrierstreifen der meteorologischen Apparate dieser Art auch dann nicht bemerkbar, da der den Stift tragende Arm im Verhältnis zur Wellenhöhe der Kurven sehr lang ist. Bei den stark geschwungenen Dampfspannungskurven ist hierauf unter Umständen durch Anbringen einer Korrektion Rücksicht zu nehmen[1]). Will man das gefundene Resultat durch eine Befahrung in anderer Anfangsstellung prüfen, so befährt man die Kurve am besten in umgekehrter Richtung und mittelt die Ergebnisse (vgl. den letzten Abschnitt).

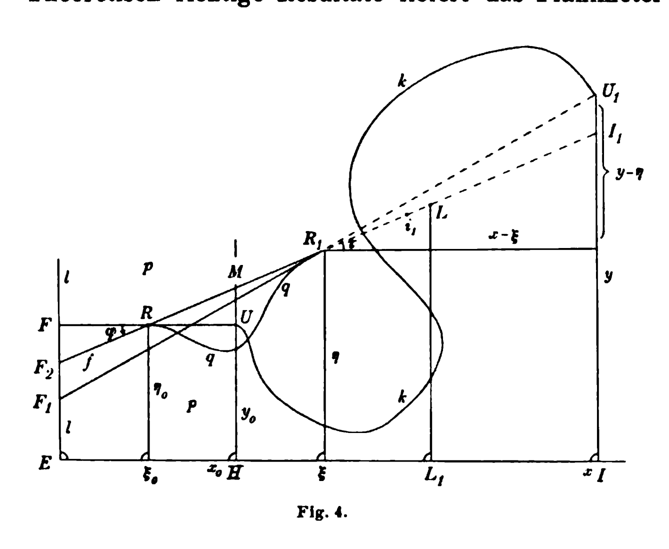


Fig. 4.

Theoretische Behandlung.

Bei einem justierten optischen Planimeter geht die auf der Fadenlinie senkrechte Achse des Rädchens durch die verlängerte Spiegelebene, welche auf der Unterlage senkrecht steht. Bezeichnet man unter dieser Voraussetzung in Fig. 4 mit $F R U$ die Anfangslage des Planimeters auf der Unterlage p, so ist U das optische Bild von F und $F U = 2 F R = x_0 = 2 \xi_0$.

Durchläuft der optische Umfahrungspunkt U die auszuwertende Kurve k bis U_1, so verhält sich auch

$$F_1 U_1 : F_1 R_1 = x : \xi = 2 : 1 .$$

Die Figur gibt weiter, da $F_1 U_1$ den Weg q des Rädchens tangiert,

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{y - \eta}{x - \xi} = \frac{y - \eta}{\frac{1}{2} x} = \frac{d\eta}{d\xi} = \frac{d\eta}{\frac{1}{2} dx}$$

oder

$$y \cdot dx = \eta \cdot dx + x \cdot d\eta = d(\eta \cdot x) , \qquad 1)$$

woraus durch Integration folgt

$$\int_0^x y \cdot dx = x \cdot \eta = F U H E + U k U_1 I H = F U_1 I E . \qquad 2)$$

[1]) Ein größerer Apparat zur Auswertung solcher Diagramme, bei dem der Streifen unter dem Instrument mit Hilfe einer Kurbel fortbewegt wird, ist der Firma Siemens & Halske A.-G., Berlin, patentiert (D.R.P. Nr. 214195 u. 214669).

Nach der Drehung um R_1 ist $F_2 R M R_1 I_1$ die Endstellung des Planimeters. Liegt M auf der Verlängerung von y_0, so zeigt Fig. 4, daß

$$F_1 U_1 I E = F_2 I_1 I E = M I_1 I H + F_2 M H E. \qquad 3)$$

Da die Parallelogramme $F U H E$ und $F_2 M H E$ flächengleich und Gl. 2) mit Gl. 3) identisch sind, folgt

$$U k U_1 I H = M I_1 I H. \qquad 3a)$$

Ist L die Mitte von $M I_1$, so muß das Lot $L L_1$ also nach Gl. 3a) die gesuchte mittlere Ordinate des Kurvenstücks k in bezug auf $H I$ als Abszissenachse sein. Ferner bestehen nach der Konstruktion von M und L die Gleichungen

$$R_1 L + L I_1 = R_1 M + 2 R M$$
$$L I_1 = R_1 M + R_1 L \ ,$$

woraus durch Subtraktion folgt $R_1 L = R M$[1]. Ist $F_2 R$ nur wenig ($\varphi < 10^0$) gegen die Achsenrichtung geneigt, so wird $RM = RU$, und L fällt dann mit dem in i_1 befindlichen Index des Instruments zusammen. Da $R_1 i_1 = RU$ ist, so hat man für die kleine Strecke $i_1 L$, um welche der gesuchte Punkt L noch vom Index des Planimeters entfernt ist, die Formel

$$i_1 L = R_1 L - R U = R U \cdot \sec\varphi - R U = \sim {}^1/_2 R U \cdot \varphi^2. \qquad 4)$$

Da RU konstant gleich 24 *mm* ist, hängt die Verschiebung $i_1 L$ nur von der Neigung des Fadens RF_2 (Fig. 4) ab, sodaß die Kurve (Fig. 3) nach folgender Tabelle konstruiert werden kann:

φ	$i_1 L$ *mm*	$i_1 L \cdot \sin\varphi$ *mm*
0°	0,0	0,00
10°	0,4	0,06
20°	1,5	0,53
30°	3,7	1,85
40°	7,3	4,72

Anstatt eine Verschiebung in der Richtung $F_2 R$ zu machen, kann man auch den Einfluß derselben auf die mittlere Ordinate LL_1

$$K = i_1 L \cdot \sin\varphi = \sim {}^1/_2 R U \cdot \varphi^3, \qquad 4a)$$

der in Spalte 3 berechnet ist, an einer zu l parallelen Skale ablesen.

Andere Eigenschaften des optischen Planimeters.

Aus Gl. 2) folgen die Gleichungen für die Kurve q (Fig. 4), die mittlere Integralkurve von k[2], welche das Rädchen während der optischen Befahrung beschreibt, und zwar mit dem Parameter x,

$$\left.\begin{aligned} \eta &= \frac{1}{x}\int y \cdot dx \\ \xi &= \frac{1}{2}\, x . \end{aligned}\right\} \qquad 5)$$

Oft ist es erwünscht, diese Kurve, welche das Wachstum des Mittelwertes graphisch darstellt, zu zeichnen. Dies geschieht entweder mit Graphitpapier, welches unter das Rad gelegt wird, oder dadurch, daß man, wie aus Fig. 1 ersichtlich, dem

[1]) Fig. 4 ist der Übersichtlichkeit wegen teilweise verzerrt gezeichnet.

[2]) Aus ihr wird auch in sehr einfacher Weise die Integralkurve $\eta = \int y \cdot dx$ punktweise gefunden.

Rade in einer Ziehfeder oder Hülse Tusche zuführt, welche aus schwarzer, unverwaschbarer Ausziehtusche, Gummiarabikum, Glyzerin und Wasser im Verhältnis 0,35 : 0,25 : 0,3 : 0,1 zu mischen ist. Das Planimeter beschreibt dann auf dem Papier selbsttätig eine tiefschwarze, gleichmäßig starke Linie, die schnell trocknet und sich gut hält. Ist k z. B. eine Gerade, so wird q eine Hyperbel mit den Asymptoten l und k, was aus Gl. 5) folgt.

Das Planimeter eignet sich deshalb besonders zum genauen Entwerfen von Hyperbel- und anderen Isoplethentafeln, die in der Technik vielfache Anwendung finden. Soll eine Hyperbel gezeichnet werden, von der ein Punkt P und die Geraden l und k als Asymptoten gegeben sind, so bringt man das arretierte Rädchen auf P und dreht das Planimeter so lange, bis der optische Umfahrungspunkt k trifft. Nach Lösung der Hemmungsschraube wird k optisch befahren, während das Rädchen die Hyperbel selbsttätig schreibt.

Aus Gl. 3a) erhellt, daß der Apparat auch als Linearplanimeter zu benutzen ist, denn die unterhalb k liegende Fläche (Fig. 4) ist das Produkt $HI \cdot LL_1$. Auch die nur von Kurven begrenzten Figuren lassen sich ähnlich berechnen. Denkt man sich die Fläche von einem Punkte U aus in zwei ungefähr gleiche Teile zerlegt, bringt die Anlage p (Fig. 3) in U so an, daß sie die Figur nicht bedeckt und bestimmt für jeden Teil den mittleren Höhenpunkt L' und L'', so ist die ganze Fläche gleich $L'L'' \cdot HI$.

Die einfachste, wenn auch nicht ganz so genaue Methode, krummlinig begrenzte Flächen zu berechnen, folgt aus Gl. 1):

$$\int_{x_0}^{x} y \cdot dx = x\,\eta - x_0\,\eta_0 .$$

Weil U mit U_1 identisch ist (Fig. 5) ergibt sich

$$\text{Fläche } k = x(\eta - \eta_0) = x \cdot RR_1 = \tfrac{1}{2} FU \cdot FF_1 .$$

Da der Spiegel von beiden Seiten benutzbar ist, kann man das Planimeter auch umdrehen, sodaß der Rahmen über die Figur k fällt (Fig. 5). Durch einen Läufer mit Marke, der in zwei Rillen innerhalb des Rahmens Halt findet, stellt man $RU = \frac{1}{2} FU$ etwa gleich 10 ein, wählt die Kante eines Maßstabs in der Entfernung RF gleich 10 als Ersatz der Linie l und umfährt k optisch, sodaß nach der Umfahrung das Bild des Fadens die Kante in F_1 schneidet. Der Flächeninhalt ist das Zehnfache der Ablesungsdifferenz am Maßstab bei F und F_1.

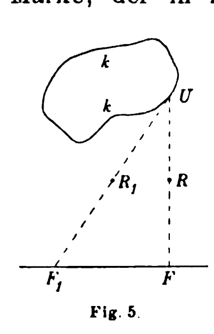


Fig. 5.

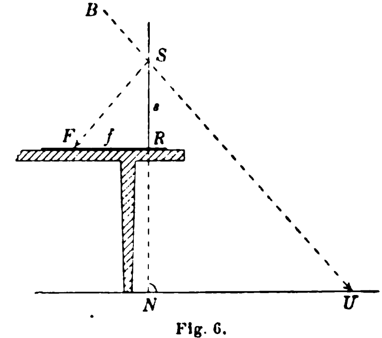


Fig. 6.

Mit dem Läufer als Marke ist der Apparat wie ein Prytzsches Stangenplanimeter zweckmäßig verwendbar. · Hier lassen sich die Radabdrücke im Papier vermeiden, wenn man das Spiegelbild des Fadens zum Schnitt mit einem prismatischen Maßstab bringt.

Eine näherungsweise perspektivisch-optische Flächenberechnung größerer Flächenstücke von mehreren Quadratmeter mit dem kleinen Instrument läßt sich leicht in folgender Weise ausführen. Man bedeckt die vom Beobachter abgekehrte, blassere Spiegelseite bis auf eine kleine, drei Millimeter weite Öffnung S mit Papier, legt auf den Tischrand (Fig. 6) weißen Karton und zieht darauf durch F parallel zur

Kante die Linie l. Ein am Fußboden mit der Mitte in U liegendes größeres Flächenstück wird mit dem auf der Tischebene stehenden Planimeter FRS unter Benutzung der kleinen Spiegelöffnung S optisch umfahren, nachdem U durch eine beliebige Linie mit dem Umfang der Figur verbunden ist. Wie in Fig. 5 sei $F_1 R_1 U_1$ die Endstellung. Setzt man $n = \frac{FR}{NU}$, so ist der Flächeninhalt des am Boden liegenden Stückes

$$k = \frac{FR}{n^2} \cdot FF_1. \qquad 6)$$

Die Punkte $FRNU$ legt man ein für allemal fest und wählt für $\frac{FR}{n^2}$ eine runde Zahl, sodaß Flächen ohne Rechnung an l abgelesen werden können. Eine Wiederholung der Befahrung empfiehlt sich, wenn man das Flächenstück umkehrt und die beiden Resultate mittelt. Die genauesten Ergebnisse erzielt man mit einem Metallspiegel, der eine kleine kreisförmige oder ovale Öffnung hat. Planimeter, welche sich zur Berechnung derartig großer Flächen eignen, sind unter dem Namen „Ledermeßmaschinen" im Handel zu haben. Diesem kleinen Instrument gegenüber zeichnen sich alle bisher konstruierten maschinellen Einrichtungen zur unmittelbaren Ausmessung von Leder und Fellen jedoch durch bedeutende Größe und Schwere aus, ohne einfacher und genauer zu arbeiten.

Die Richtigkeit der letztgenannten Berechnungsart läßt sich an der Hand der Fig. 4 u. 6 beweisen. In Fig. 6 verhält sich $(FR + NU) : FR = (n+1) : n = x_0 : \xi_0$. Dieses Verhältnis von $x : \xi$ besteht allgemein, sodaß für Gl. 1) zu schreiben ist

$$x \cdot d\eta + n\,\eta \cdot dx = n\,y \cdot dx. \qquad 7)$$

Ersetzt man links x durch ξ, so folgt durch partielle Integration

$$(1-n)\int_{\xi_0}^{\xi} \xi \cdot d\eta + n\,(\eta\,\xi - \eta_0\,\xi_0) = \frac{n^2}{1+n}\int_{x_0}^{x} y \cdot dx.$$

Schließt sich die Kurve, so ist $\xi = \xi_0 = FR$, $\eta - \eta_0 = RR_1 = \frac{FF_1}{n+1}$, $k = \int y\,dx$ und, weil das Bild von l im Anfangspunkt durch die Mitte der Figur k ging, näherungsweise $\int \xi \cdot d\eta = FR \cdot RR_1$. Da auch RR_1 die Restfigur q etwa halbiert, so ist

$$\frac{n^2}{1+n} \cdot k = (1-n)\,FR\,.\,RR_1 + n \cdot FR \cdot RR_1.$$

Eine Zusammenziehung ergibt Gl. 6).

Justierung und Genauigkeit.

Eine Anzahl Schräubchen ermöglicht die Justierung von Faden, Rädchen und Spiegel. Ob der letztere winkelrecht zur Unterlage steht, prüft man nach dem im ersten Abschnitt Gesagten oder dadurch, daß man zwei vom Rädchen gleichweit (15 *cm*) entfernte Punkte, z. B. F_1 und U_1 (Fig. 4), optisch zur Deckung bringt.

Für die Ausmessung von Registrierstreifen ist eine Justierung des Rädchens eigentlich unnötig, weil der Fehler, sofern der Index i in die Verlängerung des Fadens fällt, der Abszissenlänge proportional ist und daher korrektiv dem Ergebnis beigefügt werden kann. Bilden Rad und Faden mit den Spiegelnormalen kleine Winkel, und weicht infolgedessen der Index i nach der optischen Befahrung für die Abszisse x_0 (z. B. 300 *mm*) um $\Delta_0 i$ (z. B. 0,90 *mm*) nach rechts (links) ab (Fehler in der mittleren Ordinate LL_1), so ist die Korrektion für LL_1 bei der beliebigen Abszisse x (z. B. 120 *mm*)

$$\Delta i = \left(\frac{\Delta_0 i}{x_0}\right) \cdot x = 0{,}003 \cdot x = 0{,}36\ mm.$$

Man bestimmt $\Delta_0 i$ empirisch als die halbe Differenz der Resultate zweier optischer Befahrungen einer wellenförmigen Kurve k von der Abszissenlänge x_0, wenn man zum zweiten Male die Wellenlinie in umgekehrter Richtung befährt, also das Papier umkehrt. Um die Genauigkeit der Ausmessung registrierter Kurven im allgemeinen mit einem optischen Planimeter festzustellen, wurde eine größere Anzahl von mittleren Höhen 4 bis 30 *cm* langer Thermogramme einmal rechnerisch durch Mittelung und dann durch optische Befahrung bestimmt und aus den Abweichungen ein mittlerer Fehler der einzelnen Beobachtung von nur $\pm 0{,}07^\circ$ C. (0,07 *mm*) gefunden. Dieser Fehler nimmt bei wachsender Kurvenlänge nicht merklich zu. Sind zu regelmäßig wiederkehrenden Terminen außerdem noch Beobachtungen gemacht, welche bei der Auswertung der vom Registrierapparat verzeichneten Ergebnisse zu berücksichtigen sind, so wird das optisch erhaltene Resultat nachträglich durch eine gemittelte Terminkorrektion verbessert.

Demgegenüber ist eine genaue Justierung zum Entwerfen von Hyperbeln erforderlich. Nachdem das Rädchen in die Fadenlinie gebracht ist, wird die Achse lotrecht zu ihr gestellt und, ob dies erreicht ist, dadurch geprüft, daß man mit einem Fadenpunkt eine Gerade befährt, ohne daß das Rad diese verläßt. Nun stellt man den Spiegel annähernd senkrecht und lagert die Brücke so auf dem Unterteil, daß die Spiegelebene auf die Radachse weist, zugleich darauf achtend, daß das Spiegelbild des Fadens in seine Verlängerung fällt. Der Spiegelhalter stößt gegen eine Schraube, die so zu justieren ist, daß der Spiegel beim Aufklappen sofort richtig steht. Das Planimeter zeichnet Hyperbeln fast so genau wie ein Zirkel Kreise schlägt.

Gute Resultate gibt das Instrument als Linearplanimeter. Der mittlere Fehler beträgt für Flächen mittlerer Größe (1 *qdm*) nur $\pm 0{,}3\%$, bei kleinen wenig mehr, während die Berechnung nach Fig. 5 weniger genau und besonders von der Beschaffenheit des Kartenpapiers abhängig ist. Bei ebener Unterlage ist der mittlere Fehler bei kleinen Flächen $\pm 0{,}6\%$, wächst aber etwas mit der Flächengröße.

Die perspektivischen Berechnungen nach Fig. 6 leiden unter einer starken Parallaxe des optischen Umfahrungspunktes und an Schätzungsfehlern betreffs der richtigen Lage von U, sodaß Fehler von 1 bis 3% zu erwarten sind. Aus diesem Grunde wurde auch die Bestimmung der Momente kleiner Figuren, welche durch geeignete Integration von Gl. 7) ermöglicht wird, sowie das Vergrößern und Verkleinern von Figuren nicht erwähnt.

Berlin, Landwirtschaftliche Hochschule, im Januar 1911.

Zur Theorie des sekundären Spektrums.

Von
Dr. H. Harting.

Der folgende Beitrag bezweckt, die bekannten von Czapski u. A. in seinem Buche: „Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe" (Leipzig, J. A. Barth) auf *S. 175 bis 177* der zweiten Auflage (1904) abgeleiteten Gleichungen für die Fokusdifferenz zweier zu einem System kombinierter unendlich dünner Linsen umzugestalten. Es wird dadurch ermöglicht, einige, zum Teil schon bekannte Schlüsse zu ziehen, die mit den rein empirisch gewonnenen Vorschriften für eine zweckmäßige Achromatisierung übereinstimmen.

Wir nehmen an, daß zur Beseitigung des primären Spektrums, und zwar des der Brennweite des eben beschriebenen Systems, die den Fraunhoferschen Linien C

und F entsprechenden Farben zusammengelegt werden sollen. ϱ_1 bis ϱ_4 seien die umgekehrten Radien der vier Linsenflächen, n_1 und n_2 die Brechungsquotienten der beiden Linsen, ν_1 und ν_2 die zugehörigen Dispersionskonstanten $\left(\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}\right)$, f die äquivalente Brennweite des Ganzen. Dann wird

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_C} = (n_1^C - 1)(\varrho_1 - \varrho_2) + (n_2^C - 1)(\varrho_3 - \varrho_4)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_F} = (n_1^F - 1)(\varrho_1 - \varrho_2) + (n_2^F - 1)(\varrho_3 - \varrho_4)$$

und

$$\varrho_1 - \varrho_2 = \frac{+1}{f(n_1^F - n_1^C)(\nu_1 - \nu_2)}$$

$$\varrho_3 - \varrho_4 = \frac{-1}{f(n_2^F - n_2^C)(\nu_1 - \nu_2)}.$$

Für eine beliebige Wellenlänge λ wird

$$\frac{1}{f_\lambda} = (n_1^\lambda - 1)(\varrho_1 - \varrho_2) + (n_2^\lambda - 1)(\varrho_3 - \varrho_4)$$

$$\frac{1}{f_C} - \frac{1}{f_\lambda} = (n_1^C - n_1^\lambda)(\varrho_1 - \varrho_2) + (n_2^C - n_2^\lambda)(\varrho_3 - \varrho_4).$$

Trägt man die Werte für die Krümmungsdifferenzen $\varrho_1 - \varrho_2$ und $\varrho_3 - \varrho_4$ ein, so erhält man als Fokusdifferenz für die Wellenlänge λ in Einheiten der durchschnittlichen Brennweite

$$f_\lambda - f_C = \frac{1}{\nu_1 - \nu_2}\left\{\frac{n_1^C - n_1^\lambda}{n_1^F - n_1^C} - \frac{n_2^C - n_2^\lambda}{n_2^F - n_2^C}\right\}.$$

Hieraus läßt sich die Größe des sekundären Spektrums für jedes beliebige λ herleiten, sobald man die zugehörigen Brechungsquotienten n_1^λ und n_2^λ kennt, d. h. im Anschluß an die gemessenen Brechungsquotienten mit Hilfe einer Dispersionsformel berechnet hat.

Wir gehen nun im folgenden von der Hartmannschen Dispersionsformel aus, und zwar von der vereinfachten Form

$$n = n_0 + \frac{c}{\lambda - \lambda_0},$$

indem wir ausdrücklich festsetzen, daß es sich einmal nur um ein verhältnismäßig kleines Spektralgebiet, ferner lediglich um solche brechenden Medien handeln soll, deren Dispersion sich innerhalb jenes Spektralgebietes relativ gleichmäßig ändert. Es können also nur solche Stoffe in Frage kommen, deren Eigenschwingung im Ultravioletten mit der Wellenlänge λ_0 hinreichend weit von dem zu untersuchenden Spektralgebiete entfernt liegt. Unter dieser Voraussetzung gelangen wir zu einer sehr einfachen und durchsichtigen Beziehung zwischen der Fokusdifferenz $f_\lambda - f_C$ und der Wellenlänge λ selbst.

Bezeichnen wir die Konstante λ_0 für die beiden Linsenmedien mit λ_0' und λ_0'', die Wellenlängen der C- und F-Linie mit λ_C und λ_F, so wird zunächst

$$f_\lambda - f_C = \frac{\lambda - \lambda_C}{(\nu_1 - \nu_2)(\lambda_C - \lambda_F)}\left\{\frac{\lambda_F - \lambda_0'}{\lambda - \lambda_0'} - \frac{\lambda_F - \lambda_0''}{\lambda - \lambda_0''}\right\}$$

und hieraus

$$f_\lambda - f_C = \frac{1}{\nu_1 - \nu_2} \cdot \frac{(\lambda - \lambda_C)(\lambda - \lambda_F)}{\lambda_C - \lambda_F} \cdot \frac{\lambda_0'' - \lambda_0'}{(\lambda - \lambda_0')(\lambda - \lambda_0'')}. \qquad 1)$$

Hiernach ist die Fokusdifferenz eine gebrochene rationale algebraische Funktion der Wellenlänge λ, sodaß sich die numerische Bestimmung sehr schnell ermöglichen läßt. Fallen die beiden Stellen der Eigenschwingungen im Ultravioletten λ_0' und λ_0'' zusammen, so ist $f_\lambda = f_C$ und damit die Achromasie infolge des Zusammenfallens aller Farben in dem ganzen hier in Betracht kommenden Spektralgebiete eine vollkommene.

Unter gewissen Bedingungen läßt sich die Gl. 1) noch weiter vereinfachen. Zunächst ist es von Interesse, festzustellen, innerhalb welcher Grenzen die das optische Medium hier charakterisierende Wellenlänge λ_0 der Resonanzstelle schwankt. Die optischen Gläser, wie sie die Produktionsliste von Schott & Gen. in Jena aufweist, zeigen Schwankungen in λ_0 von etwa 150 bis 230 $\mu\mu$. Für einige andere Substanzen, die allerdings nur für die Mikroskopoptik Interesse bieten, habe ich die Werte für n_0, c und λ_0 aus den Brechungsquotienten für C, D und F, wie folgt, berechnet.

Substanz	t °C.	n_D	ν	$n_F - n_C$	$n_F - n_D$	n_0	log c	λ_0
Flußspat	20	1,4338	95,1	0,00456	0,00321	1,42384	0,6265	165,0
Vaselinöl	20	1,5053	37,6	0,01344	0,0097	1,4826	0,8944	244,5
Zinkblende	22	2,3684	15,5	0,08820	0,0645	2,2300	1,6518	265,1
Zimmtäthyl	17	1,5615	19,6	0,02858	0,0210	1,5180	1,1399	272,4
Baryumquecksilberjodid	21	1,7813	10,9	0,07204	0,0542	1,6929	1,4035	277,0
Methylenjodid mit Schwefel gesättigt	20	1,7872	19,2	0,04107	0,0303	1,7265	1,2746	279,5
Kaliumquecksilberjodid	19	1,7127	11,8	0,06033	0,0452	1,6338	1,3494	306,1
Piperin	19	1,6844	9,8	0,06999	0,0536	1,6058	1,3009	335,0

Derartig große Werte von λ_0, wie sie die aufgeführten Stoffe mit Ausnahme des Flußspates zeigen, wollen wir ausschließen und uns nach der Seite der stark brechenden Medien hin auf Flintgläser mit einem Brechungsquotienten n_D von höchstens 1,64 beschränken. Für die Gesamtheit der optischen Gläser von Schott habe ich die Hartmannschen Konstanten berechnet und im *Archiv f. Optik* **1.** *S.* **100** *u.* **101.** ***1907*** (vgl. auch *diese Zeitschr.* **28.** *S. 273. 1908*) veröffentlicht. Eine Vergleichung der λ_0-Werte mit den optischen Konstanten ergibt einen einfachen Zusammenhang von λ_0 und ν. Ich führe einige hervorstechende Glassorten an.

Typus	n_D	ν	λ_0	Typus	n_D	ν	λ_0
O 2188	1,5013	65,9	163,6	O 846	1,5525	53,0	183,4
O 144	1,5100	64,0	165,4	O 583	1,5688	51,2	185,6
O 3848	1,5199	63,5	167,0	O 527	1,5718	50,4	187,8
O 337	1,5144	60,7	172,7	O 726	1,5398	47,3	190,6
O 60	1,5179	60,2	172,3	O 378	1,5473	45,9	195,0
O 567	1,5134	59,7	174,2	O 154	1,5710	43,0	199,3
O 2071	1,6098	58,8	175,0	O 340	1,5774	41,4	202,0
O 3376	1,5189	57,3	176,8	O 118	1,6129	36,9	207,9
O 114	1,5151	56,6	178,7	O 103	1,6202	36,2	209,4
O 463	1,5646	55,4	180,4	O 93	1,6245	35,8	209,9
O 608	1,5149	54,6	181,6	O 335	1,6372	34,8	212,8

Trägt man diese Werte von λ_0 und ν als rechtwinklige Koordinaten ein, so findet man, daß sie sich ungezwungen und mit sehr geringen Abweichungen einer geraden Linie anschließen, deren Gleichung lautet

$$\lambda_0 = 265{,}0 - 1{,}536\,\nu. \qquad 2)$$

Für einen Teil der Schottschen Gläser ist der Exponent α von $\lambda - \lambda_0$ abweichend von 1 gefunden worden, und zwar bei schwach zerstreuenden kleiner als 1, bei stark zerstreuenden größer als 1. Läßt man jedoch eine Abweichung in der Darstellung von n_D um zwei Einheiten der fünften Dezimale zu, so kann auch für diese abweichenden Glassorten $\alpha = 1$ gesetzt werden, und es ergibt sich ein Wert für λ_0, der sich mit hinreichender Annäherung der Gl. 2) anschließt. Dies gilt um so mehr, als λ_0 aus den Brechungsquotienten für C, F und G' abgeleitet ist. Beschränken wir uns aber entweder auf das Gebiet der auf die Netzhaut wirkenden oder auf das der aktinischen Strahlen, so wird der Anschluß der vereinfachten Hartmannschen Interpolationsformel innerhalb jener Gebiete noch besser. Auszunehmen sind nur die Gläser, die einen außergewöhnlichen Gang der Farbenzerstreuung zeigen, und deren λ_0 dementsprechend aus der durch die Gl. 2) gegebenen Reihe herausfällt. Für die Glaspaare, deren Komponenten sich hinreichend gut der Gl. 2) anschließen, wird

$$\frac{\lambda_0'' - \lambda_0'}{\nu_1 - \nu_2} = 1{,}536\,,$$

also konstant und unabhängig von ihrer optischen Lage.

Dasselbe gilt angenähert von dem im Nenner der Gl. 1) auftretenden Produkte $(\lambda - \lambda_0')(\lambda - \lambda_0'')$. Wenn wir nur das Gebiet der physiologisch wirksamen Strahlen durchmustern, dürfte kaum ein Wert von λ kleiner als 430 $\mu\mu$ in Betracht kommen. Bleiben wir ferner bei der Kombination eines Kronglases mit einem $\nu = 65 \sim 55$ und eines Flintglases mit einem $\nu = 45 \sim 35$, so entfernt sich der Wert des Produktes $(\lambda - \lambda_0')(\lambda - \lambda_0'')$ nicht weit von dem des Näherungswertes $(\lambda - 188)^2$, ist also gleichfalls angenähert unabhängig von der optischen Lage. Demnach wird, wenn wir die Werte für die Wellenlängen λ_C und λ_F eintragen,

$$f_\lambda - f_C = 0{,}009\,\frac{(\lambda - 656)(\lambda - 486)}{(\lambda - 188)^2}\,. \qquad 3)$$

Diese Gleichung besagt also, daß, unter den obigen Einschränkungen, die Fokusdifferenz für eine beliebige Wellenlänge nur von der Auswahl der beiden zur Deckung kommenden Farben abhängt, dagegen unabhängig von der Wahl der Glassorten ist. Kommen dagegen Spezialgläser in Betracht, die nicht der Bedingungsgleichung 2) genügen, so ist die Fokusdifferenz für verschiedene Linsengruppen bei gleicher Wellenlänge im wesentlichen direkt proportional der Differenz der Wellenlängen der Resonanzstellen $\lambda_0'' - \lambda_0'$ und umgekehrt proportional der ν-Differenz. Einige zuletzt folgende Beispiele werden diesen Zusammenhang näher erläutern.

Von besonderem Interesse ist es, die Lage und Größe des zwischen den Wellenlängen λ_C und λ_F liegenden *Minimums* der Funktion $f_\lambda - f_C$ zu ermitteln, das einen Maßstab für die Größe des sekundären Spektrums bildet. Differenzieren wir die Gl. 1) logarithmisch, so wird für das Minimum

$$\frac{d(f_\lambda - f_C)}{d\lambda}\cdot\frac{1}{f_\lambda - f_C} = \frac{1}{\lambda - \lambda_C} + \frac{1}{\lambda - \lambda_F} - \frac{1}{\lambda - \lambda_0'} - \frac{1}{\lambda - \lambda_0''} = 0\,.$$

Die Multiplikation führt zunächst zu der quadratischen Gleichung

$$\lambda_m^2(\lambda_C + \lambda_F - \lambda_0' - \lambda_0'') - 2\lambda_m(\lambda_C\lambda_F - \lambda_0'\lambda_0'') = (\lambda_C + \lambda_F)\lambda_0'\lambda_0'' - (\lambda_0' + \lambda_0'')\lambda_C\lambda_F\,.$$

Hieraus würde λ_m, die Stelle des Minimums, ohne weiteres folgen. Man begeht jedoch nur einen für die numerische Rechnung belanglosen Fehler, wenn man, wie bei Aufstellung der Gl. 3), setzt

$$(\lambda - \lambda_0')(\lambda - \lambda_0'') = (\lambda - \lambda_0)^2,$$

also ungefähr

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_0' + \lambda_0''}{2} \ldots\ldots = \sqrt{\lambda_0' \lambda_0''} \ldots\ldots$$

Dann zerfällt die quadratische Gleichung

$$\lambda_m^2 (\lambda_C + \lambda_F - 2\lambda_0) - 2\lambda_m (\lambda_C \lambda_F - \lambda_0^2) = (\lambda_C + \lambda_F)\lambda_0^2 - 2\lambda_0 \lambda_C \lambda_F$$

in die beiden linearen

$$\lambda_m - \lambda_0 = 0$$

$$(\lambda_m + \lambda_0)(\lambda_C + \lambda_F) - 2\lambda_C \lambda_F - 2\lambda_m \lambda_0 = 0.$$

Die erste Gleichung kommt hier nicht in Betracht. Die zweite gibt die Lösung

$$\lambda_m = \frac{2\lambda_C \lambda_F - \lambda_0(\lambda_C + \lambda_F)}{\lambda_C + \lambda_F - 2\lambda_0}$$

oder nach einiger Umformung

$$\lambda_m = \frac{2\lambda_C \lambda_F}{\lambda_C + \lambda_F} - \left(\frac{\lambda_C - \lambda_F}{\lambda_C + \lambda_F}\right)^2 \frac{1}{\frac{1}{\lambda_0} - \frac{2}{\lambda_C + \lambda_F}}. \tag{4}$$

Diese Gleichung zeigt, daß sich die Stelle λ_m des Minimums der Funktion $f_\lambda - f_C$ entsprechend der Änderung von λ_0 nur wenig verschiebt, solange λ_0 hinreichend weit von den Stellen λ_C und λ_F, die zum Zusammenfallen gebracht werden, entfernt liegt. Wir betrachten kurz die drei bekannten Arten der Achromatisierung.

a) *Optische Korrektion.* Die Farben der C- und F-Linie werden zusammengelegt (656,3 und 486,2 $\mu\mu$). Die den Zusammenhang zwischen der Lage λ_m des Minimums und der von den Eigenschwingungen im Ultraviolett λ_0', λ_0'' abhängigen Hilfsgröße λ_0 vermittelnde Gl. 4) wird

$$\lambda_m = 558{,}5 - \frac{0{,}02216}{\frac{1}{\lambda_0} - 0{,}001750}.$$

Hieraus ergibt sich der numerische Zusammenhang

λ_0	150	170	190	210
λ_m	554,0	553,1	552,2	551,1

Für beliebige Kombinationen der optischen Gläser liegt also der Scheitel der Farbenkurve *konstant* bei etwa 552 $\mu\mu$. **Jedenfalls sind die von λ_0 abhängigen Schwankungen viel geringer als die durch den Wechsel der absoluten Helligkeit verursachten.** Dieselbe Stelle des Spektrums **enthält aber auch die auf die Netzhaut am** stärksten wirkende Farbe. Es bestätigt sich **also auch hierin der alte, empirisch gewonnene Satz, daß man den besten Ausgleich für die unvermeidlichen Farbenabweichungen erhält, wenn man die Farben der C- und F-Linie miteinander vereinigt.** Man kann **demnach das bekannte Scheibnersche Verfahren zum Ausgleich der** Farbenfehler **durch entsprechende Lagerung des** Scheitels der Farbenkurve **an der** physiologisch wirksamsten Stelle des Spektrums nicht mehr als etwas von der den Praktikern geläufigen Art der Korrektion durch Zusammenlegen von C und F **wesentlich** Verschiedenes bezeichnen. So eilte auch hier wieder einmal in der Optik die Praxis der Theorie voraus.

Setzen wir diesen Wert von λ_m in die Gl. 3) ein, so wird

$$f_{\lambda_m} - f_C = \frac{0{,}009 \cdot 65{,}8 \cdot 104{,}3}{364 \cdot 364}.$$

Die größte Abweichung in der Brennweite gegenüber den identischen Brennweiten f_C und f_F, d. h. das sekundäre Spektrum, ist also für alle Kombinationen von Gläsern, deren partielle Dispersionen keinen außergewöhnlichen Gang zeigen, die also der Gl. 2) genügen, *konstant* und beträgt etwa 0,47, gemessen in Tausehdsteln der Brennweite.

b) *Rein aktinische Korrektion.* Die Farben der *F*- und der violetten Quecksilberlinie werden zusammengelegt (486,2 und 405,1 $\mu\mu$). Es tritt dann in bekannter Weise chemischer Fokus auf. Die entsprechende Gleichung für die Wellenlänge λ_m des Scheitels der Farbenkurve wird

$$\lambda_m = 441{,}9 - \frac{0{,}00828}{\frac{1}{\lambda_0} - 0{,}002243},$$

und hieraus folgen die numerischen Werte

λ_0	150	170	190	210
λ_m	440,0	439,6	439,2	438,6

Da in der Astrophotographie kaum die das Violett stärker absorbierenden schweren Bleisilikalflintgläser Verwendung finden, kommen größere Werte von λ_0 nicht in Betracht. Der Scheitel der Farbenkurve liegt also unter den obigen Voraussetzungen in jedem Falle bei 439 $\mu\mu$, d. h. dicht bei der *G'*-Linie und fällt so mit der Stelle der größten spektralen Empfindlichkeit der durchschnittlichen Bromsilbergelatineplatte zusammen.

c) *Photographische Korrektion zur Beseitigung des chemischen Fokus.* Die Farben der *D*- und *G'*-Linie werden zusammengelegt (589,3 und 434,1 $\mu\mu$). Die Scheitelgleichung wird

$$\lambda_m = 499{,}8 - \frac{0{,}02300}{\frac{1}{\lambda_0} - 0{,}001954}$$

und

λ_0	150	170	190	210
λ_m	494,9	493,9	492,9	491,6

Mithin liegt der Scheitel der Farbenkurve bei 493 $\mu\mu$, also etwa bei der *F*-Linie.

Die Gl. 1) soll nun noch dazu angewandt werden, für einige Kombinationen besonders gearteter Gläser die Fokusdifferenz numerisch darzustellen. Der Vollständigkeit halber ergänze ich zunächst die in meiner oben erwähnten Mitteilung aufgeführte Liste optischer Gläser und ihrer Konstanten nach der Hartmannschen Interpolationsformel. Die Schottschen O- und S-Gläser sind aus der Liste: „Jenaer Glas für die Optik“, 1909, entnommen, die durch ein vorgesetztes M kenntlich gemachten Mantoisschen Gläser aus der vor einigen Jahren erschienenen letzten Liste der *Verrerie scientifique spéciale* Parra-Mantois & Cie, Paris. Die Konstanten wurden aus n_C, n_F, $n_{G'}$ berechnet.

M 6292 ist ultraviolett-durchlässig, entsprechend dem Schottschen Glase U V 3199. Quarzglas (amorpher Quarz) ist wegen seiner steigenden Bedeutung für die optische Technik mit aufgeführt, da es vermutlich bald möglich sein wird, auch größere Linsen (Objektive, Okulare, Kondensorlinsen, Planparallelplatten u. dgl.) daraus herzustellen.

Typus	Bezeichnung	n_D	$n_F - n_C$	ν	$\frac{n_F - n_D}{n_F - n_C}$	$\frac{n_{G'} - n_F}{n_F - n_C}$	n_0	log c	λ_0
	Quarzglas	1,4584	0,00679	67,5	0,702	0,551	1,44315	0,8230	154,2
O 3512	Borosilikatkron	1,5301	0,00851	62,3	0,704	0,559	1,51153	0,8967	165,3
S 367	Phosphatkron	1,5164	0,00746	69,2	0,701	0,559	1,50007	0,8407	164,8
S 336	Boratflint	1,6168	0,01416	43,6	0,708	0,585	1,58799	1,0612	189,7
S 389	Boratflint	1,5686	0,01102	51,6	0,703	0,571	1,54531	0,9824	176,9
S 356	Boratflint	1,5625	0,01058	53,2	0,704	0,568	1,53997	0,9709	174,2
M 6292	Crown (*série* Z) UV . .	1,5054	0,00783	64,5	0,701	0,557	1,48817	0,8669	162,4
M 4755	Crown (*série* A)	1,5261	0,00854	61,6	0,704	0,562	1,50763	0,8924	167,9
M 6439	Boro-Silicate Flint . . .	1,5442	0,00926	58,8	0,705	0,569	1,52457	0,9111	175,1
M 5022	Baryum Crown *très léger*	1,5401	0,00893	60,5	0,704	0,566	1,52088	0,9038	171,4
M 4614	Flint *extra-léger* (*série* A)	1,5073	0,00933	54,4	0,704	0,567	1,48732	0,9188	173,1
M 4692	Flint *extra-léger* (*serie* A)	1,5207	0,01006	51,8	0,706	0,572	1,49958	0,9394	178,4
M 4676	Boro-Silicate Flint . . .	1,5572	0,01149	48,5	0,708	0,581	1,53358	0,9775	186,8

In der folgenden Zusammenstellung sind die Fokusdifferenzen einiger Glaspaare gegeben. Das erste, O 60 ($n_D = 1,5179$, $\nu = 60,2$) und O 103 ($n_D = 1,6202$, $\nu = 36,2$), zeigt den typischen Verlauf des sekundären Spektrums eines aus *gewöhnlichen* Gläsern bestehenden Paares; eine entsprechende Darstellung findet sich auch an der erwähnten Stelle des Czapskischen Buches, allerdings ist hier die Auswahl der zusammenfallenden Farben etwas anders. Für sehr große Wellenlängen ist die Fokusdifferenz entsprechend der Gl. 3) konstant und gleich $+ 0,009 f$. Die Kurve schneidet die λ-Achse zum ersten Male im Punkte λ_C unter einem Winkel von 0,4°, falls wir als Einheit 0,001 f annehmen, erreicht bei $\lambda_m = 552\ \mu\mu$ ihr Minimum in der angegebenen Größe und steigt nach zweiter Durchsetzung der λ-Achse im Punkte λ_F unter einem Winkel von 1,0° ins Positive, wo die Fokusdifferenz sehr schnell wächst.

Die folgenden drei Kombinationen haben als Glas mit kleinerer Dispersion das Schottsche Fernrohrkron für Objektive ohne sekundäres Spektrum O 3655 ($n_D = 1,5285$, $\nu = 61,0$). Die zugehörigen Flintgläser sind O 3419, O 3439, O 3422 ($n_D = 1,5154$, 1,5286, 1,5257, $\nu = 54,6$, 51,6, 50,9). Die fünfte Kombination ist Flußspat und das Schottsche Borosilikatkron O 3512 ($n_D = 1,5301$, $\nu = 62,3$), die sich durch vollkommene Beseitigung des sekundären Spektrums auszeichnet und deshalb, zumal bei der großen Lichtdurchlässigkeit dieses Glases, für manche Zwecke eignen dürfte.

λ in $\mu\mu$	O 60 und O 103	O 3655 und O 3419	O 3655 und O 3439	O 3655 und O 3422	Flußspat und O 3512	M 6292 und UV 3248	M 5022 und M 4692
770	+ 0,88	+ 0,31	+ 0,40	+ 0,43	0,00	+ 0,98	+ 0,43
730	+ 0,56	+ 0,20	+ 0,26	+ 0,27	0,00	+ 0,63	+ 0,28
690	+ 0,25	+ 0,09	+ 0,11	+ 0,12	0,00	+ 0,28	+ 0,12
650	— 0,04	— 0,02	— 0,02	— 0,02	0,00	— 0,05	— 0,02
610	— 0,30	— 0,10	— 0,13	— 0,14	0,00	— 0,33	— 0,14
570	— 0,46	— 0,16	— 0,21	— 0,22	0,00	— 0,50	— 0,22
530	— 0,44	— 0,15	— 0,20	— 0,21	0,00	— 0,47	— 0,21
490	— 0,06	— 0,02	— 0,03	— 0,03	0 00	— 0,07	— 0,03
450	+ 1,02	+ 0,34	+ 0,44	+ 0,47	0,00	+ 1,05	+ 0,47
410	+ 3,59	+ 1,17	+ 1,53	+ 1,62	+ 0,02	+ 3,60	+ 1,61

An sechster Stelle steht die Verbindung des Mantoisschen U V-Kron M 6292 mit dem Schottschen Flint UV 3248 (n_D = 1,5332, ν = 55,4) und zuletzt das Paar aus den Gläsern M 5022 und M 4692. Die Fokusdifferenzen sind in Tausendsteln der Brennweite angegeben.

Auch diese Zusammenstellung zeigt den beträchtlichen Vorteil, der der optischen Technik durch die Erschmelzung der neueren Fernrohrgläser erwachsen ist[1]).

Schlachtensee bei Berlin, im Januar 1911.

Hochdispergierender lichtstarker Monochromator und Spektralapparat.

Von

H. du Bois in Berlin und **G. J. Elias** in Haarlem.

(Mitteilung aus dem Bosscha-Laboratorium.)

Der jüngst beschriebene geradsichtige Monochromator[2]) kann nicht mehr in Betracht kommen, sobald es sich neben großer Lichtintensität auch um starke Dispersion handelt, also die Monochromasie etwa bis zu einer „Homogenität" von der Ordnung einer Ångström-Einheit gesteigert werden soll, wie es neuerdings bei manchen Versuchen gefordert wird. Trotz der fast unabsehbaren Auswahl an Spektralapparaten[3]) schien uns hier doch eine Lücke der Ausfüllung zu harren, insbesondere im Hinblick auf die instrumentellen Bedürfnisse der modernen Magnetooptik.

Von Wadsworth[4]) wurden bereits verschiedene „festarmige" Spektroskope angegeben, von denen einige auch als Monochromator in Betracht kommen können; insbesondere betont er die Methode von Spiegel und Prisma, deren Drehungen in einem bestimmten Verhältnis stehen, derart, daß konstante Ablenkung erfolgt.

In Anlehnung an einen Spektralapparat Lippichs beschrieb dann Wülfing einen Monochromator mit zwei Prismen und diskutierte auch die mit verschiedenen Lichtquellen erreichbare Intensität. Indessen war die Dispersion hierbei eine ziemlich geringe, und die Prismen standen nicht in Minimumstellung; von Leiss wurde das Instrument konstruktiv durchgebildet[5]).

Ein von Fabry und Jobin angegebener Autokollimator enthielt zwei Vollprismen, deren Bewegung mittels zykloidischer Kammräder erfolgte[6]). Später wurde von Hamy ein Zahnradmechanismus vorgeschlagen und von Jobin ausgeführt[7]); soweit uns bekannt geworden ist, gelang es in dieser Weise aber nicht, eine eindeutige

---

[1]) Vgl. M. Wolf, Über ein Fernrohrobjektiv mit verbesserter Farbenkorrektion. *Diese Zeitschr.* **19.** *S. 1. 1899*; Dr. R. Steinheil, Farbenkorrektion und sphärische Aberration bei Fernrohrobjektiven. *Diese Zeitschr.* **19.** *S. 177. 1899.*

[2]) H. du Bois, *diese Zeitschr.* **31.** *S. 1. 1911.*

[3]) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. 1. Bd. *S. 489 u. flgde.* gibt eine Übersicht bis etwa 1900; vgl. auch E. C. Baly, *Spectroscopy*, London 1905.

[4]) F. L. O. Wadsworth, *Phil. Mag.* **38.** *S. 337. 1894; Astrophys. Journ.* **1.** *S. 232. 1895.*

[5]) F. Lippich, *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **91,** *II. S. 1070. 1885*; E. A. Wülfing, *Tschermaks mineral. u. petrograph. Mitteil.* **15.** *S. 74. 1896: Neues Jahrb. f. Mineralog. Beil.* **12.** *S. 343. 1898; Beibl. z. Wied. Ann.* **23.** *S. 355. 1899*; C. Leiss, *diese Zeitschr.* **18.** *S. 209. 1898*; S. Nakamura, *Ann. d. Physik* **20.** *S. 811. 1906.*

[6]) Ch. Fabry und A. Jobin, *Journ. de Phys.* **3.** *S. 202. 1904.*

[7]) M. Hamy, *Journ. de Phys.* **7.** *S. 52. 1908; diese Zeitschr.* **28.** *S. 122. 1908.*

Beziehung zwischen Einstellung der Bewegungsschraube und Wellenlänge zu erhalten, auf die es doch in den meisten Fällen gerade ankommt.

Wir haben 1907 gemeinsam mit Hrn. Dr. Löwe einen ähnlichen Autokollimator entworfen[1]); die Zähne waren größer als in der Jobinschen Ausführung und mit großer Sorgfalt mittels eines Spezialapparats ausgefräst worden. Trotzdem blieb der Zahnradmechanismus unbefriedigend und verschlechterte sich beim Gebrauch derart, daß eine sichere Kalibration ganz illusorisch wurde. Wofern auf eine solche dauernd Wert gelegt wird, sind nach unseren Erfahrungen Schnecken, Zahnräder u. dgl. auszuschließen.

Vor einiger Zeit beschrieb Löwe drei festarmige Spektralapparate, zwei mit Autokollimation und einen mit Parallelverschiebung des Strahlenbüschels; indessen wurde hierbei auf große Lichtintensität weniger Gewicht gelegt[2]). Bei dem letztgenannten wurde ein Paar Prismen mit konstanter Ablenkung von 60° verwendet. Die Eigenschaften solcher Prismen mit innerer Totalreflexion wurden bereits von Abbe bekanntlich in ganz allgemeiner Weise klargelegt.

Ein Spezialfall ist das sog. Pellin-Brocasche Prisma[3]) mit 90° Ablenkung: Dieses wurde bei einem Hilgerschen Spektralapparat mit Wellenlängentrommel verwendet sowie ganz neuerdings bei einem von Leiss beschriebenen Monochromator[4]). Solche Prismen weisen zweifellos manche Vorzüge auf; bei größeren Objektiven bedingen aber ihre ungünstigen Projektionsverhältnisse erhebliche Horizontalabmessungen, d. h. hohen Preis, sowie einen langen Lichtweg und damit Absorption. Wir möchten indessen dazu bemerken, daß durch Hinzufügen zweier fester Halbprismen *I* und *III* die Dimensionen des Hauptprismas *II* mit dem Drehpunkt[5]) *P* (Fig. 1) für $n = \sqrt{3}$ in 0,58-fachem Maße verringert, die Dispersion dagegen verdoppelt erscheinen würde.

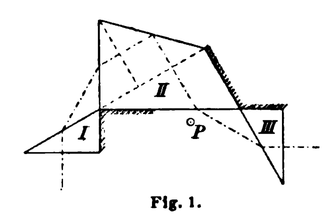


Fig. 1.

Bei der Verschiedenheit der verfügbaren, teilweise gut durchgebildeten Typen kann man kaum einen als das Optimum für einen festarmigen Spektralapparat und Monochromator bezeichnen. Vielmehr gilt es, zwischen ihren Vorzügen und Nachteilen abzuwägen und ein konstruktives Kompromiß anzustreben, wobei es auf diesem Gebiete kaum möglich ist, etwas Neues zu schaffen; es kann sich nur um die Kombination bekannter Teile handeln. Wir haben unter teilweiser Verwendung der Optik des oben erwähnten Autokollimators den Abbe-Wadsworthschen Kunstgriff des Hilfsspiegels angewandt; wir konnten uns dadurch bei Benutzung je zweier Voll- und Halbprismen auf drei kinematisch gekoppelte Drehungen um raumfeste Achsen beschränken.

Die allergrößte Lichtintensität wird namentlich bei polarimetrischen Versuchen gefordert, wo die fast gekreuzten Nicols nur einen geringen Bruchteil des Lichtes hindurchlassen. Hieraus folgt, daß in derartigen Fällen eine bereits durch den Illuminator selbst erzeugte Polarisation nicht schadet; es könnte vielmehr Vorteile bieten, wenn jede Brechung unter dem Polarisationswinkel stattfände, denn es ergäben sich ja dann keinerlei Verluste durch Reflexion desjenigen Lichtes, welches

---

[1]) H. du Bois, G. J. Elias und F. Löwe, *Versl. Akad. Wet. Amsterd.* **16.** *S. 744. 1908; Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **11.** *S. 707. 1909.*

[2]) F. Löwe, *diese Zeitschr.* **26.** *S. 330. 1906;* **27.** *S. 271. 1907.*

[3]) Ph. Pellin und A. Broca, *Journ. de Phys.* **8.** *S. 314. 1899.*

[4]) C. Leiss, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 68. 1909.*

[5]) Nach F. Löwe, *diese Zeitschr.* **27.** *S. 275. 1907.*

parallel den brechenden Prismenkanten polarisiert ist. Der Apparat würde also in der üblichen Stellung Licht hindurchlassen, welches eine erhebliche partielle Polarisation in der Vertikalen aufwiese. Aus dem Brewsterschen Gesetze folgt, daß dazu der brechende Winkel der Vollprismen ($180^0 - 2 \operatorname{arctg} n$) betragen sollte; man benutzt nun einmal vorzugsweise Vollprismen von 60° — bezw. Halbprismen von 30° — und diese entsprechen dem Brechungsindex $n = \sqrt{3} = 1,732$. Für diesen Fall würden die Inzidenzwinkel offenbar auch 60° betragen; er ist z. B. der Fig. 1 zugrunde gelegt.

Die Glassorte soll möglichst folgenden Anforderungen genügen: 1. Brechungsindex für eine mittlere Farbe ungefähr 1,73; 2. hohe Dispersion; 3. keine erhebliche Absorption im Blau bezw. Violett; 4. Homogenität und Blasenfreiheit; 5. Luftbeständigkeit; 6. genügende Abmessungen des Rohglases. Trotz der gegenwärtig so reichen Auswahl an optischen Glassorten erschien es doch vorderhand ausgeschlossen, jene Bedingungen alle in genügender Weise zu erfüllen. Für ein bekanntes älteres Schwerflint der Firma Schott & Gen. O113 ist z. B. $n_D = 1,737$, $\Delta n = n_F - n_C = 0,026$; es ist aber zu gelb und blasig, folglich unbrauchbar. Schließlich mußte anfangs 1907 vorläufig schwerstes Flint Nr. 1771 gewählt werden, für welches $n_D = 1,794$, $\Delta n = 0,031$. Dem entspricht freilich nach dem Obigen ein brechender Winkel von etwas über 58° (bezw. 29°). Aus Δn ergibt sich für jedes Vollprisma von 60° zwischen C und F eine Dispersion von 4° 4′, daher für 2 Voll- und 2 Halbprismen

$$(1/2 + 1 + 1 + 1/2) \times 4^0 4' = 12,2^0,$$

und mit Autokollimation das Doppelte, bezw. über das ganze sichtbare Spektrum (425—770 $\mu\mu$) etwa 50°. Obwohl dieses Glas ziemlich „weiß" ist, absorbiert es immerhin noch violettes Licht; unter gewöhnlichen Umständen kann man kaum unterhalb $\lambda = 450\ \mu\mu$ arbeiten. Beim Gebrauch als Spektroskop sind indessen die Eisenlinien bei 425 $\mu\mu$ noch gut sichtbar, die Wasserstofflinie 410 $\mu\mu$ aber nicht mehr.

Beschreibung.

Die Anordnung der Prismen *I, II, III, IV*, des Hilfsspiegels M und der sonstigen Dioptrik ergibt sich aus der schematischen Fig. 2. K_1 und K_2 sind die Kollimatoren, welche ebensowohl als Fernrohre benutzt werden können. Ersterer ist auch für Autokollimation eingerichtet, wobei sich die doppelte Dispersion ergibt; dem gegenüber stehen als Nachteile: einmal mehr falsche Reflexe infolge der *ungeraden* Zahl der Spiegelungen, obwohl solche auch bei Apparaten mit einfacher Durchsicht nicht fehlen. Sodann die Vignettierung des Lichtbüschels infolge der Notwendigkeit, den Eintrittsspalt E und den Austrittsspalt A_1 in verschiedener Höhe anzuordnen. Der brechende Winkel des ersten Halbprismas *I* beträgt 30° 40′; die 54 × 54 *mm* große Eintrittsfläche bildet einen kleinen Winkel mit der Wellenfront, sodaß der störende Reflex seitlich abgelenkt wird. Das letzte Halbprisma *IV* kann an der Rückfläche mit einem Silber- bezw. Magnaliumspiegel M_2 versehen werden. Durch Entfernung eines oder beider Vollprismen wird die Dispersion um ein bezw. zwei Drittel verringert; das Halbprisma *IV* wird dann hinter dem Hilfsspiegel M bezw. hinter *I* zweckentsprechend aufgestellt.

Damit jedes Vollprisma an und für sich und damit der ganze Satz beim Farbenwechsel dauernd in der Minimumstellung verbleibe, müssen *II* und *III* offenbar um ihre festen Drehzapfen P_2 bezw. P_3 gleiche und gleichsinnige Drehungen erleiden, während die Halbprismen starr mit ihren Kollimatoren verbunden bleiben, und der Silberspiegel M durch den $^3/_2$-fachen Winkel gleichsinnig um seinen durch eine be-

sondere Konstruktion bestimmten Drehpunkt P zu drehen ist. Die dergestalt kinematisch vorgeschriebene Bewegung wird zwangläufig bewirkt durch zwei gleichlange Hebel H_2 und H_3 sowie durch H, welcher nur $^2/_3$ dieser Länge aufweist. Auf die mit Achatplatten versehenen Hebelenden drücken mit Stahlkugeln ausgerüstete Querausleger Q_2, Q und Q_3, die an einem Schlitten T befestigt sind, dessen Längsverschiebung sie daher in gleichem Maße folgen; geeignete Spiralfedern sorgen für genügenden Kontakt der Einzelteile. Der Schlitten wird betätigt durch die Mikrometerschraube S von 0,5 *mm* Ganghöhe; diese ist mit einer großen Kreistrommel C versehen, deren Umfang 2×100 Teile aufweist. Sie kann direkt gedreht werden oder auch mittels exzentrischen Triebrädchens, Stange und Rändelknopf; der Beobachter handhabt diesen eventuell mittels kardanischen Gelenks und Aluminiumrohr aus der Ferne. Es entsprechen etwa 2300 Trommelteile (23000 Noniusteile) dem Spektralbereich C—F, während auf das Intervall 430—670 $\mu\mu$ etwa die doppelte Zahl entfällt.

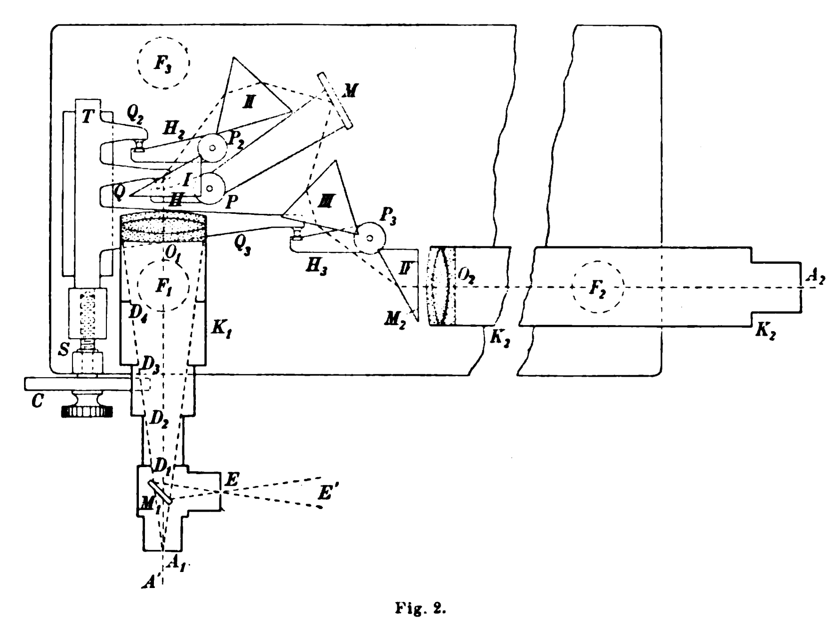


Fig. 2.

Im Hinblick auf den bei vielen Versuchen gewünschten weiteren Strahlengang, insbesondere durch einen Halbring-Elektromagnet, sowie auf photographische Verwendung wurde für den Kollimator K_1 ein großes Öffnungsverhältnis vorgesehen. Das dreigliedrige Objektiv mit Ölkittung hat eine lichte Öffnung von 66 *mm*, sodaß es die quadratische Prismenfläche von 54×54 *mm* (Diagonale 76 *mm*) mit Ausnahme kleiner Ecken umfaßt. Das Auflösungsvermögen wird dann voll ausgenutzt, was bei kleinerem Objektiv nicht der Fall ist; die rechteckige Objektivblende erscheint uns kein Nachteil, zumal sie oft auf Polarisatoren u. dgl. von ebenfalls rechteckigem Profil abzubilden sein wird. Die Brennweite beträgt 260 *mm*, also das Öffnungsverhältnis des Objektivs rund $^1/_4$. Die berechnete laterale sphärische Aberration ist von der Ordnung 0,01 *mm*; tatsächlich erscheint sie noch günstiger, vermutlich sogar unter 0,005 *mm*. Dagegen bleiben chromatische Fokaldifferenzen, obwohl größtenteils aufgehoben, doch merklich; der Astigmatismus kann außer Betracht bleiben. Rechteckige Blenden $D_1 \ldots D_4$ befinden sich im Kollimatorrohr K_1; durch diese wird die Divergenz des Strahlenbüschels in horizontaler und vertikaler Richtung auf etwa $^1/_5$ begrenzt, während sie in der

Diagonale offenbar dem Öffnungsverhältnis 1/4 des Objektivs gleichkommt. Letzteres kann übrigens auch durch eins von größerer Brennweite und geringerem Öffnungsverhältnis ersetzt und der Auszug entsprechend verlängert werden. Es ergibt sich dann naturgemäß stärkere Vergrößerung.

Am Ende des Kollimators befindet sich der um dessen Längsachse um 180° drehbare Spaltkopf. Vor den Aus- und Eintrittsspalten sind umstellbare Vergleichsprismen aus Fluorit von 60° bezw. 90° angeordnet. Der bilaterale Eintrittsspalt E ist 3,5 *mm* hoch, drehbar und mit kreisförmigen Spaltbacken, vom Krümmungsradius 60 *mm*, versehen, sodaß Neigung und Krümmung der Spektrallinien für eine mittlere Farbe aufgehoben und für die übrigen zu vernachlässigen sind. Bei der großen Divergenz stellte es sich zur Verhütung von Reflexen als nötig heraus, die Spaltbackenränder und deren Abschrägungen mit feinstem Mattlack zu schwärzen, wodurch die Schärfe des Spaltbildes nicht beeinträchtigt wurde. Ein vorderseitig versilbertes Planspiegelchen[1]) M_1 richtet die Strahlen nach der Linse. Es befindet sich in einer justierbaren Fassung, die um eine vertikale und eine horizontale Achse eingestellt werden kann.

Der Austrittsspalt A_1 ist ebenfalls bilateral, 3,5 *mm* hoch und etwas drehbar, aber geradlinig. An dessen Stelle kann ein Fadenkreuz bezw. Okularmikrometer oder ein sog. Hilgerscher feiner Leuchtfaden eingesetzt werden oder ein schwaches fluoreszierendes Okular von 40 *mm* Brennweite. Beobachtet wurde mit Zeissschen reflexfreien, monozentrischen Okularen oder mit Steinheilschen achromatischen Mikrometerokularen bis zu 5 *mm* Äquivalentbrennweite herunter. Letztere sind symmetrisch aus zwei achromatischen Doppellinsen zusammengesetzt und eignen sich auch zur Photographie und Projektion des Spektrums. Behufs direkten unvergrößerten Photographierens eines kleinen Spektralbereiches kann auch eine kleine Kassette am Spaltkopf angebracht werden.

Das zweite Kollimatorrohr K_2 trägt einerseits ein Steinheilsches dreigliedriges apochromatisches Objektiv O_2 von 61 *mm* Durchmesser und 610 *mm* Brennweite, andererseits einen 10 *mm* langen Austrittsspalt A_2 bezw. die erwähnten Okularvorrichtungen. Bei Benutzung der Autokollimation ist es naturgemäß überflüssig; es ist daher leicht abnehmbar und mit einem langen Auszug versehen, was dann seiner Verwendbarkeit als Ablesefernrohr für verschiedene Zwecke zugute kommt.

Das ganze Instrument ist eisenfrei bis auf die kleinen Stahlkugeln, welche in dieser Hinsicht nicht stören. Es ist auf einer kräftigen Grundplatte gedrängt aufgebaut; die Fußschrauben F_1, F_2, F_3 bilden ein rechtwinkliges Dreieck, dessen Katheten unter den beiden Kollimatorachsen liegen. Der Prismensatz wird von einer möglichst licht- und feuchtigkeitsdichten Messingkappe überdeckt. Sie ist innen mit wärmeisolierendem, schwarzem Filz bekleidet und trägt einen Rohrstutzen mit Thermometer. Unter der Kappe befinden sich Zinktröge mit geeigneten Substanzen zum Schutze des empfindlichen Glases; als solche bewährten sich ungelöschter Kalk bezw. reines Kalziumoxyd gegen Wasserdampf und Kohlensäure, Blattsilber gegen Schwefelwasser-

---

[1]) Unter einer Inzidenz von 45° reflektiert eine frische Silberfläche 96,5 und 93,5% des parallel bezw. senkrecht zur Einfallsebene polarisierten, gelben Lichts; sie muß freilich gelegentlich erneuert werden. Der Spaltkopf war zuerst, wie vielfach üblich, mit einem totalreflektierenden Fluoritprisma versehen; dies hat den Nachteil eines merklichen optischen Gangunterschieds für verschiedene Farben sowie unvermeidlicher falscher Reflexe. Der Lichtverlust von etwa 8% beträgt auch schon mehr als im ungünstigsten Fall für die Silberreflexion. Ähnliche Gesichtspunkte gelten für die Benutzung des Silberspiegels M.

stoff, Kaliumbisulfat gegen Ammoniak[1]). Für Messungen im Ultraviolett wird das Objektiv O_1 ersetzt durch einen dreigliedrigen Quarz-Fluorit-Achromat von 39 *mm* Durchmesser und 260 *mm* Brennweite, also etwa $^1/_7$ nützlichem Öffnungsverhältnis; ferner gehören hierzu ein Paar Cornuscher Quarzhalbprismen von 35 × 35 *mm* Eintrittsfläche; Prismentisch *II* ist dazu mit besonderem Kernpunkt und Nut versehen. Wegen der Abnahme des Reflexionsvermögens bei Silber im Ultraviolett ($\lambda < 350\,\mu\mu$) wird das zweite Quarzhalbprisma nicht versilbert, sondern ein massiver Metallspiegel mit Öl oder Glyzerin an die Rückfläche gepreßt; hierzu eignet sich am besten Spiegelmagnalium, weniger gut Nickel[2]); der Spaltkopfspiegel M_1 muß dann vom gleichen Metall gewählt werden.

Gebrauchsanweisung.

Die Bewegungsebene des Prismensatzes ist selbstverständlich senkrecht zu den drei konischen Drehachsen P, P_2 und P_3, welche einander sehr genau parallel eingepaßt sein sollen. Nachdem werden alle Prismen vertikal justiert, insbesondere das letzte Halbprisma *IV*, sodaß der Bedingung des nächsten Absatzes bei Benutzung von Autokollimation genügt werden kann.

Der Spaltkopfspiegel M_1 ist folgender Forderung entsprechend zu justieren: Der Haupteintrittsstrahl $\overrightarrow{E'EM_1}$ außerhalb des Kollimators K_1 sei horizontal gerichtet; dann müssen innerhalb K_1 die Hauptstrahlen $\overrightarrow{M_1O_1}$ und $\overrightarrow{O_1M_1A'}$ in einer zu $\overrightarrow{E'M_1}$ senkrechten Vertikalebene liegen und kleine, entgegengesetzt gleiche Winkel mit der Horizontalen bilden. Durch Kippen des Instruments mittels der Fußschraube F_3 um die Verbindungslinie F_1F_2 kann nachträglich der Hauptaustrittsstrahl $\overrightarrow{O_1M_1A'}$ horizontal gestellt werden, wie es meist erwünscht sein wird. Der Kollimator K_1 ist derart zu fokussieren, daß das Licht vollkommen parallel durch die Prismen geht; offenbar müssen dann Eintritts- und Austrittsspalt in genau gleicher optischer Entfernung vom Objektiv O_1 liegen; diese Gleichheit bleibt bestehen, wenn man mittels des Rohrauszugs den ganzen Spaltkopf verschiebt. Dies sollte denn auch — wegen der nicht ganz erfüllten Achromasie — geschehen, sofern der Apparat als Spektroskop benutzt wird, weil bei einem mangelhaften Parallelismus der Strahlen die Definition der Spektrallinien eine weniger gute wird. Beim Gebrauch als Monochromator ist es aber wegen des folgenden Strahlengangs unerwünscht, den Austrittsspalt zu verschieben; es empfiehlt sich dann, den Eintrittsspalt mittels der hierzu vorgesehenen Spiralnute jeweilig ein wenig zu fokussieren, wenn dies auch geringe Abweichungen vom Parallelismus erzeugt; denn unscharfe Fokussierung beeinträchtigt die Homogenität des austretenden Lichtes. Es ist ferner zu beachten, daß das Objektiv voll ausgeleuchtet sein soll, weil sonst das Auflösungsvermögen nicht ausgenutzt wird.

Da ein gewisser „toter Gang“ des Bewegungsmechanismus nicht zu vermeiden ist, empfiehlt es sich, beim Gebrauch die Schraube stets im gleichen Sinne zu drehen, z. B. von kleineren zu größeren Zahlen bezw. auch Wellenlängen.

Sollten die Prismen einmal entfernt werden, so sind sie unter einer Glasglocke aufzubewahren und mittels der oben erwähnten Chemikalien zu schützen.

Es ist nachdrücklich zu betonen, daß beim Gebrauch als Illuminator der ganze Strahlengang von der Lichtquelle bis zur Netzhaut des Beobachters, insbesondere die

[1]) Während anfangs die Prismenflächen nach drei Monaten angelaufen und unbrauchbar waren, blieben sie bisher unter diesem Schutze klar. Der Gebrauch solcher Chemikalien scheint uns in ähnlichen Fällen allgemein empfehlenswert.

[2]) E. Hagen und H. Rubens, *Ann. d. Physik* **8**. *S. 18. 1902.*

Divergenzen des Büschels, demjenigen innerhalb des Apparats angepaßt werden müssen, wenn dieser wirklich ganz ausgenutzt werden soll; dabei spielen die Abbildungen der Objektivblende eine gewisse Rolle. Zur Auswertung der Bewegungsschraube benutzten wir die Linien der Gasspektren von Wasserstoff und Helium; sodann die einer Quecksilber- und einer Eisenbogen-Lampe; endlich die Funkenspektren des Kupfers, Zinks, Aluminiums und Kadmiums. Man erhält so eine reichliche Auswahl verschiedener Spektrallinien zwischen 425 und 770 $\mu\mu$, dem Nutzbereiche der Glasprismen; der Spielraum des Mechanismus entspricht übrigens einem größern Wellenlängenbereiche.

Leistungen des Apparats.

Die Genauigkeit der Noniusablesung entspricht etwa 0,01 $\mu\mu$, und die Optik zeigte sich dem ziemlich ebenbürtig. Was in erster Linie die rein *spektroskopischen* Leistungen betrifft, so berechnet sich das theoretische Auflösungsvermögen des Prismensatzes im Rayleighschen Sinn auf rund 65000 für gelbgrünes Licht; der Maximalwert im Dunkelblau beträgt etwa das Doppelte, während er nach Rot zu stark abnimmt. Dementsprechend war die Trennung benachbarter Linien eine recht befriedigende.

So wurden die Heliumlinien 587,581 und 587,615 (Differenz 0,034) im Emissionsspektrum bei entsprechend starker Vergrößerung (etwa 75-fach) noch deutlich getrennt. Im Sonnenspektrum sah man die Baryumlinie 493,425 doppelt [„*very difficult double*“ nach Rowland[1])]. Ebenso gelang hier die Trennung der Eisenlinien 495,748 und 495,778 (Diff. 0,030), 527,334 und 527,355 (Diff. 0,021) sowie b_3 = 516,916 (Abstand 0,015). Zwischen D_1 und D_2 wurden vier Linien gesehen; zwei von diesen sind die Komponenten der Nickellinie 589,310 [„*exceedingly close equal double*“ nach Rowland]. Auch wurde im Absorptionsspektrum des Rubins der Zeeman-Effekt gut beobachtet, und eignet sich der Apparat zur Demonstration solcher Erscheinungen.

Fabry und Jobin (*a. a. O. S. 208*) haben eine Vergleichstabelle berechnet für die im Spektrum einem Wellenlängen-Intervall von 1 $\mu\mu$ entsprechende Distanz, und zwar im Violett bei etwa 434 $\mu\mu$; im Rot ist diese Spektraldehnung naturgemäß erheblich geringer.

Spektralapparat	Dispersion
Bruce (Yerkes-Observatorium)	1,4 *mm* pro $\mu\mu$
Mills (Lick-Observatorium)	0,8 „ „ „
Fabry und Jobin	2,0 „ „ „
du Bois und Elias (Autokollimation)	1,9 „ „ „
du Bois und Elias (Kollimator K_2)	2,3 „ „ „
Rowland-Gitter des Berlin. Univ.-Instituts; 1. Ordnung (5684 Furchen pro *cm*; 390 *cm* Radius)	2,18 „ „ „

Die viermal größere Brennweite bei Fabry und Jobin wird also durch unsere soviel größere Dispersion ziemlich kompensiert.

Das dem Austrittsspalt zu entnehmende, stark vertikal polarisierte Licht läßt sich recht homogen erhalten. Es läßt sich nachweisen, daß es hierfür am günstigsten ist, wenn Ein- und Austrittsspalt die gleiche Breite im Verhältnis zur Brennweite aufweisen. Bezeichnet man als Maß der „Homogenität“ die Differenz derjenigen Wellenlängen, von denen noch die Hälfte der vollen Lichtstärke aus dem Spalte austritt, so läßt sich folgende Tabelle dafür berechnen.

---

[1]) H. A. Rowland, *Phil. Mag.* **36.** *S. 49. 1893.*

Spaltbreite	Homogenität (in $\mu\mu$) bei		
mm	$\lambda = 465\ \mu\mu$	$\lambda = 565\ \mu\mu$	$\lambda = 665\ \mu\mu$
0,03	0,021	0,046	0,079
0,05	0,035	0,077	0,132
0,08	0,056	0,123	0,215
0,10	0,070	0,155	0,265

Hierbei ist abgesehen von Beugung und Abbildungsfehlern; erstere ist aber bei der hohen auflösenden Kraft höchstens von der Ordnung 0,01 *mm*, während letztere kleiner als 0,005 *mm* sein dürften; ihr Einfluß auf obige Zahlen ist daher nur ein geringer.

Das „falsche Licht" stört bei einem Monochromator noch mehr als bei anderen optischen Apparaten[1]). Es handelt sich dabei um 1. direkt reflektiertes und 2. diffus zurückgeworfenes, weißes Licht; 3. innerhalb der Prismen und des Objektivs sowie an deren Flächen zerstreutes Licht, dessen Farbe wenig von der Hauptwellenlänge des austretenden Lichtes abweicht; 4. durch Bläschen innerhalb bezw. Fleckchen auf den Flächen der Prismen gebeugtes Licht unbestimmter Farbe. Die gegen das Auftreten der ersten beiden Arten getroffenen Maßnahmen wurden im vorigen beschrieben. Die Erscheinung sub 3. ist eine sehr allgemein verbreitete; wir haben kein Instrument bezw. Prisma untersucht, bei dem sie nicht mehr oder weniger störend auftrat. Die Frage, ob eine gewisse Zerstreuung auch noch bei einer wirklich makrohomogenen „optisch leeren" brechenden Substanz vorkommen kann, bildete neuerdings den Gegenstand theoretischer Erörterungen, von Spring wurde sie bei vielen reinen Substanzen mit hohem Molekulargewicht nachgewiesen[2]); eine vollständige experimentelle Klärung dürfte sich sehr heikel und langwierig gestalten. Was schließlich die Beugung betrifft, so waren unsere Prismen nicht allzu blasig, und nach Einführung der beschriebenen chemischen Schutzmaßregeln entstanden auch keine Fleckchen mehr darauf.

Schließlich konnte der Bruchteil falschen weißen Lichtes auf weniger als ein Tausendstel des monochromatischen gelben Spektrallichts geschätzt werden, und es dürfte schwer halten, diesen Betrag noch erheblich zu verringern. Sofern man mit „weißem falschen Licht" — über das ganze Spektrum verteilt — zu tun hat, können Lichtfilter gute Dienste leisten, wie sie neuerdings in ausgedehnterem Maße Verwendung finden[3]). Wenn es sich aber vorwiegend um Nebenlicht in der Nähe der Hauptwellenlänge handelt, so ist dies schwerer zu beseitigen.

Was die Helligkeit betrifft, so entsprach diese den Erwartungen. Die vertikale Vignettierung beträgt im Mittel etwa 25%, wie man beim Akkommodieren auf die Objektivblende sofort erkennen kann; an der Seite, wo das Licht einen längeren Glasweg durchlief, ist sie geringer, sodaß die Blende trapezförmig ausgeleuchtet wird. Die horizontale Vignettierung ist bei den benutzten geringen Spaltbreiten zu vernachlässigen.

---

[1]) Namentlich bei der Durchleuchtung einer Substanz mit dem von ihr selektiv absorbierten Lichte, wobei gerade „falsches Licht" unbehindert hindurchgeht.

[2]) C. A. Lobry de Bruyn und L. K. Wolff, *Rec. Trav. Chim. d. Pays-Bas* **23.** *S. 155. 1904*; L. Mandelstam, *Physikal. Zeitschr.* **8.** *S. 608. 1907*; **9.** *S. 308. 1908*; M. Planck, *ebenda* **8.** *S. 906. 1907*; H. A. Lorentz, *Versl. Akad. Wet. Amsterd.* **18.** *S. 650. 1910*; A. Cotton und H. Mouton, *Ann. de chim. et de phys.* **19.** *S. 158. 1910.*

[3]) Wir benutzten namentlich sog. monochromatische verkittete Filter von Wratten & Wainwright in Croydon (Surrey).

Schließlich läßt sich also mit dem beschriebenen Apparat hellstes monochromatisches Licht von weitgehender Homogenität darstellen, insbesondere zur Beleuchtung von lichtschwachen Polarisationsvorrichtungen, was bei stark absorbierenden Substanzen besonders zur Geltung kommt.

Die Firma Fr. Schmidt & Haensch in Berlin hat den ferneren Bau des Instruments übernommen.

Über die Anwendung der Zylinderlinse in Spektralapparaten.

Von

E. Gehrcke in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Im folgenden möchte ich auf eine Anwendung der Zylinderlinse aufmerksam machen, welche eine beträchtliche Steigerung der Helligkeit in Spektrographen ermöglicht.

Eine Farbe bestimmter Wellenlänge wird in den meisten Apparaten als „Linie", d. h. als schmaler, *langer* Lichtstreifen erzeugt. Hierbei wird mit der vorhandenen Lichtenergie sehr verschwenderisch umgegangen; denn für die Beurteilung der Intensität und Größe der Wellenlängen würde eine ganz niedrige, punktförmige Linie bereits ausreichend sein, und es wäre viel vorteilhafter, wenn die Energie jeder Spektral-*Linie* in einen Spektral-*Punkt* konzentriert würde. Dieser Zweck ist nun aber unschwer zu erreichen, denn dazu hat man nur in passender Entfernung vor das Bild der Spektrallinie eine Zylinderlinse zu setzen, deren Achse senkrecht zur Spektrallinie steht.

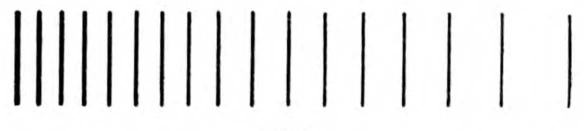


Fig. 1.

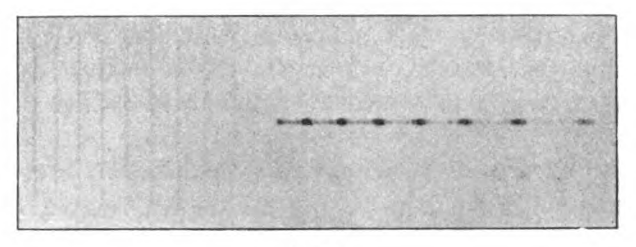


Fig. 2.

Dieses Prinzip ist so einfach, daß man kaum annehmen kann, es sei bisher noch nicht von den optischen Konstrukteuren erwogen worden; aus der Literatur scheint mir indes hervorzugehen, daß die Bedeutung dieses Prinzips *für die Spektrographie*, insbesondere der lichtschwachen Spektren, bisher nicht genügend gewürdigt wurde. Immerhin wird in einer Abhandlung des Hrn. E. S. Johansen[1]) bereits ausgesprochen, daß eine vor eine Vakuumthermosäule gesetzte Zylinderlinse die Empfindlichkeit steigert und in gewöhnlichen Spektralapparaten wohl verdoppeln könne; andere Literaturhinweise sind mir nicht bekannt. Zunächst sei der Erfolg, den man mit Hilfe der Zylinderlinse erzielt, vor Augen geführt. In Fig. 1 sind schematisch vertikale Interferenzstreifen dargestellt, wie sie mit einem Interferenzspektroskop nach Lummer-Gehrcke erhalten werden; die Helligkeit ist im rechten Teil der Fig. 1, wo die Streifen am schärfsten sind, und wo man meistens beobachtet, geringer als im

---

[1]) E. S. Johansen, *Ann. d. Physik.* **33.** *S. 525 u. flgde. 1910.*

linken Teil. Wenn man nun aber vor die rechte Hälfte der Interferenzstreifen der Fig. 1 eine Zylinderlinse in passender Entfernung anbringt, deren Achse genau senkrecht zu den Interferenzstreifen liegt, so wird hier (abgesehen von den Reflexionsverlusten an der Linse) alle in den langen Interferenzstreifen enthaltene Energie zu ganz kurzen Interferenzstreifen kondensiert. Diesen Fall zeigt die Fig. 2[1]), erhalten mit der Quecksilberlinie 546 einer Lummerschen Quecksilberlampe und einer Interferenzplatte von 0,5 *cm* Dicke im großen Interferenzspektroskop der Firma Schmidt & Haensch: man erkennt dementsprechend im rechten Teil der Fig. 2 lichtstarke, *kurze* Interferenzstreifen nebst Trabanten, im linken, von der Zylinderlinse nicht bedeckten Teil *lange*, lichtschwache Interferenzstreifen, bei denen die Trabanten noch nicht zu sehen sind. Die Expositionsdauer der Photographie betrug 8 Sekunden; die Brennweite der angewandten, plankonvexen Zylinderlinse war 1,5 *cm* bei einer Apertur von 1,5 *cm*.

Wenn es sich darum handelt, sehr lange Interferenzstreifen oder Spektrallinien in einen möglichst kleinen Bereich zu konzentrieren, so wird man zweckmäßig einen aus *mehreren* Zylinderlinsen bestehenden Kondensor anwenden. So erwies sich beispielsweise ein aus vorhandenen Zylinderlinsen zusammengestellter Kondensor, bestehend aus 2 plankonvexen Zylinderlinsen, als sehr brauchbar für ein Rowlandsches Beugungsgitter von 1 *m* Radius.

Es ist selbstverständlich, daß sich das angegebene Prinzip auf alle Arten von Spektralapparaten unschwer übertragen läßt, in denen man für gewöhnlich längere, *geradlinige* Spektrallinien erzeugt. Hierzu gehört außer verschiedenen Typen von Interferenzapparaten und Beugungsgittern auch das Michelsonsche Stufengitter. Beim Prismenapparat, wo meist merklich gekrümmte Spektrallinien entstehen, wird die einfache Zylinderlinse im allgemeinen eine Verundeutlichung der Spektrallinien, also eine Verringerung der Auflösungskraft, zur Folge haben. Es ist eine bisher wohl noch nicht gelöste Aufgabe der optischen Technik, auch für diesen Fall eine geeignete Linse, die den praktischen Anforderungen genügt, zu finden[2]). Wenn es auf hohe Auflösung nicht ankommt, wird aber auch in Prismenapparaten, mögen diese die photographische, bolometrische oder thermoelektrische Registrierung der Wellenlängen benutzen, die einfache Zylinderlinse aus Glas, Quarz o. dgl. bereits Vorteile bieten.

Wenn man keine passende Zylinderlinse zur Hand hat, kann man sich auch mit primitiveren Mitteln, wie sie in den meisten Laboratorien vorhanden sind, behelfen. Oft stellt ein gewöhnlicher Glasstab bereits eine für unsern Zweck mit Erfolg anzuwendende Zylinderlinse dar. So erhöht z. B. ein Glasstab von etwa 5 *mm* Durchmesser, den man auf einer Unterlage von geeigneter Krümmung gebogen hat, vor den photographischen Film gesetzt, die Helligkeit der Spektrallinien eines Konkavgitters so bedeutend, daß man die Expositionszeit auf einen Bruchteil der früheren Expositionszeit abkürzen kann.

Zum Schluß möchte ich noch bemerken, daß die beschriebene Steigerung der Helligkeit sich natürlich auf die objektive, nicht auf die visuelle, beim Hindurchsehen beobachtete Bildhelligkeit bezieht. Die von Lord Rayleigh neuerdings wieder

[1]) Die Fig. 2 ist die 4-fache Vergrößerung der Originalphotographie.

[2]) Durch Kombination zweier zueinander senkrechter, achromatischer Zylinderlinsen ließe sich nach dem Vorgang von Lippich (*diese Zeitschr.* **4.** *S. 7. 1884*) vielleicht auch dieses Problem lösen; hierzu würde man aber wohl zweckmäßig den Zylinderlinsen auch längs der Achse eine Krümmung erteilen.

eingeführte, sehr praktische Anwendung der Zylinderlinse als Okular[1]) bewirkt ebenfalls direkt keine Steigerung der visuellen Bildhelligkeit, sondern vermeidet die infolge starker Vergrößerung mit einem sphärischen Okular auftretende Lichtschwächung in der Richtung der Zylinderachse.

Referate.

Der sechzigzöllige Reflektor des Mount Wilson-Observatoriums.

Von G. W. Ritchey. *Astrophys. Journ.* **29.** *S. 198. 1909.*

Einige Methoden und Resultate der direkten Photographie mit dem sechzigzölligen Reflektor des Mount Wilson-Observatoriums.

Von G. W. Ritchey. *Ebenda* **32.** *S. 26. 1910.*

Der Reflektor von 60 *inches* = 152 *cm* Öffnung des Observatoriums auf Mount Wilson in Kalifornien ist augenblicklich das größte und lichtstärkste zur Himmelsbeobachtung dienende Instrument, und auch in seinen Leistungen gehört es zu den allerersten Hilfsmitteln der heutigen Astronomie; Ref. hatte vor kurzem Gelegenheit, sich von der wunderbaren Schönheit und Schärfe der Bilder dieses Teleskops zu überzeugen. Der Erbauer desselben, Prof. Ritchey, war in einer Person der konstruierende Mechaniker und der Optiker, der den Schliff der Spiegelflächen in der höchsten Vollkommenheit ausführte, und jetzt ist er der fleißige Beobachter, der schon eine große Zahl prachtvoller Himmelsaufnahmen mit diesem mächtigen Instrument hergestellt hat.

Über die von Ritchey bei der Herstellung und Prüfung der Spiegelflächen angewandten Methoden wurde bereits in *dieser Zeitschr.* **24.** *S. 221. 1904* berichtet. Hier sollen nun noch einige Angaben über die Ausführung der mechanischen Teile gemacht werden.

Der sechzigzöllige Reflektor kann in vier verschiedenen Formen verwendet werden: erstens als Newtonsches Teleskop (Fig. 1) für photographische Aufnahmen im Fokus des Hauptspiegels A, der 7,6 *m* Brennweite hat; das Öffnungsverhältnis ist dann 1 : 5. Der Spiegel ist paraboloidisch geschliffen, am Rande 194 *mm*, in der Mitte 175 *mm* dick und wiegt 865 *kg*. Die photographische Platte wird nicht direkt in der Bildebene des Hauptspiegels angebracht, sondern in der optischen Achse desselben ist zunächst ein unter 45° geneigter Planspiegel B von elliptischer Form (368 : 502 *mm*) befestigt, der das Bild nach der Seite C reflektiert, wo die Kassette und die mit ihr verbundenen Okulare zum Halten des Sternbildes montiert sind.

Die zweite Verwendungsform ist die in Fig. 2 dargestellte als Cassegrainsches Teleskop. Statt des Planspiegels ist dann in B senkrecht zur optischen Achse ein hyperbolischer Konvexspiegel angebracht, der eine beträchtliche Verlängerung der Brennweite bewirkt und das Bild nach Reflexion vom Planspiegel D nahe beim Hauptspiegel in C entwirft.

Die dritte Verwendungsform ist der vorigen sehr ähnlich, nur wird in B ein anderer hyperboloidischer Spiegel benutzt, der eine Gesamtbrennweite von 24,4 *m*, also ein Öffnungsverhältnis von 1 : 16, liefert; in dieser Form wird der Reflektor in Verbindung mit einem bei C angesetzten großen Sternspektrographen verwendet.

Die vierte, in Fig. 3 skizzierte, Anordnung kann man als gebrochenes Cassegrain-Teleskop bezeichnen. In B befindet sich ein hyperboloidischer Spiegel von 445 *mm* Durchmesser, der eine Gesamtbrennweite von 45,7 *m* erzeugt. Die von diesem Spiegel kommenden Lichtstrahlen werden in D von einem elliptischen (318 : 565 *mm*) Planspiegel, der im Kreuzungspunkte der optischen und der Stundenachse DE steht, in der Richtung der letzteren reflektiert;

[1]) Lord Rayleigh nach Travers, *The study of gases, S. 291 u. flgde.*; Vgl. auch K. Hermann, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **10.** *S. 211. 1908*; F. Löwe, *diese Zeitschr.* **30.** *S. 322. 1910.* Betreffs der Literatur über Zylinderlinsen vgl. z. B. H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie 1. Bd. *§ 497.*

sie durchlaufen die hohle Achse und vereinigen sich erst hinter dem unteren Achsenlager, in einem tiefer gelegenen Beobachtungsraume, zum Bilde. In dieser Form wird das Teleskop mit sehr großen Spektrographen verbunden, die wegen ihrer starken Dispersion bedeutende Belichtungszeiten und daher auch besonders sorgfältige Konstanthaltung der Temperatur und Vermeidung von Biegungsfehlern erfordern.

Alle Spiegel — auch die „kleinsten" derselben könnten nach ihrer Größe schon als Hauptspiegel stattlicher Spiegelteleskope angesehen werden — sind auf der Rückseite einigermaßen eben poliert und werden stets auf beiden Seiten versilbert, um eine möglichst gleichmäßige Einwirkung der Temperaturschwankungen zu erreichen.

Die Art der Montierung und der Gesamteindruck des Teleskops sind aus Fig. 4 zu erkennen. Nur die schweren Gußstücke der Montierung wurden von einer Eisengießerei in San Francisco geliefert; die letzte Bearbeitung dieser Teile sowie die Herstellung aller feineren Teile, einschließlich des Uhrwerks, der elektrischen Bewegungseinrichtungen der äußerst exakt gearbeiteten Kassettenträger, der geteilten Kreise und des großen, mit Schnecken-

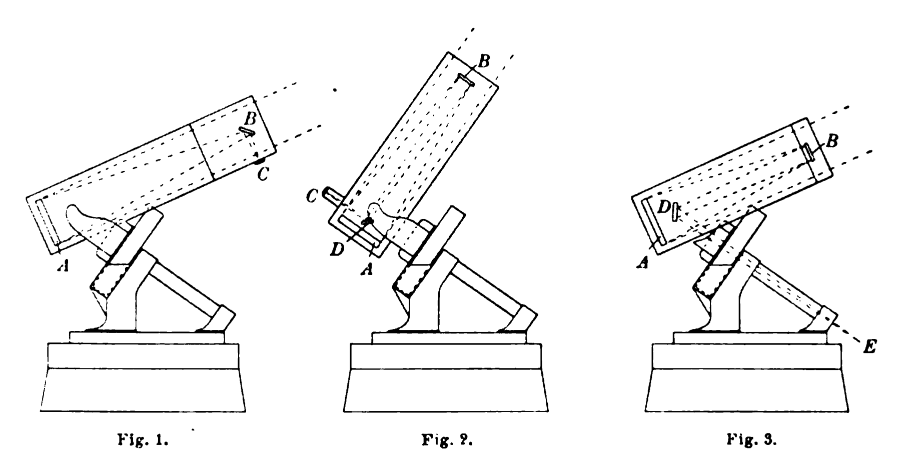


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

gewinde versehenen Stundenkreises von 3 *m* Durchmesser erfolgte ebenso wie der Schliff der oben besprochenen optischen Teile in der eigenen Werkstatt des Observatoriums in Pasadena unter Leitung von Prof. Ritchey.

Die in den Fig. 1 bis 3 sichtbare Grundplatte wiegt mit den beiden Achsenträgern 11532 *kg*. Die hohle Polarachse ist aus Nickelstahl hydraulisch geschmiedet; sie ist 4,6 *m* lang, 38 bis 46 *cm* dick und wiegt 4140 *kg*. An ihrem oberen Ende hat sie eine ebene Platte von 137 *cm* Durchmesser und 152 *mm* Dicke. Auf der unteren Seite dieser Platte ist der hohle Schwimmkörper *A* (Fig. 4) aus starkem Kesselblech befestigt; er bildet eine Scheibe von 61 *cm* Dicke und 305 *cm* Durchmesser. Dieser zur „Entlastung" dienende Schwimmer wiegt allein wieder 3900 *kg*. Er taucht mit seinem unteren Teile in einen nur wenig weiteren gußeisernen Trog *T*, der 295 *kg* Quecksilber enthält. Durch den Auftrieb des durch den Schwimmer verdrängten Quecksilbers (etwa 1,4 *cbm*) werden 19479 *kg* oder 95 % des Gesamtgewichtes der beweglichen Teile des Teleskops getragen. Die Massen sind so verteilt, daß diese Entlastung senkrecht unter dem Schwerpunkt angreift.

Auf der oberen Seite des erwähnten Kopfstückes der Polarachse ist mit 12 Nickelstahlbolzen von 6,5 *cm* Dicke und 91 *cm* Länge die Gabel befestigt, zwischen deren Armen das Teleskop seine Deklinationsbewegung um zwei 18 *cm* starke Zapfen ausführt.

Der Uhrkreis von 305 *cm* Durchmesser liegt unterhalb des Fußbodens und ist in Fig. 4 nicht sichtbar. Sein Umfang trägt ein Schneckengewinde von 1080 Zähnen, die auf einer Kreisteilmaschine mit der größten Präzision geschnitten wurden. Die in diesem Gewinde laufende Uhrschraube trägt ein ebenso sorgfältig geteiltes Schneckenrad mit 80 Zähnen, in welches eine direkt mit dem regulierenden Zentrifugalpendel verbundene Schraube eingreift. Auf diese Weise wird die Bewegung des Regulators, der in einer Sekunde eine Umdrehung

macht, ohne Vermittelung von Zahnrädern nur durch zwei Schneckengänge auf die 24-stündige Umdrehungszeit der Polarachse reduziert.

Sowohl die Einstellung als auch die Feinbewegung des Teleskops findet durch Elektromotoren statt. Ein Teil der Einrichtungen für die Bewegung in Deklination ist in Fig. 4 sichtbar; speziell dient auch der Zahnkranz *Z* diesem Zwecke, während der zu ihm parallele Zahnsektor *E* eine eigentümliche andere Bestimmung hat. Wie eine einfache Überlegung zeigt, darf nämlich der in Fig. 3 mit *D* bezeichnete Planspiegel bei Bewegung des Instrumentes in Deklination nur mit der halben Geschwindigkeit mitgedreht werden, wenn das reflektierte Strahlenbüschel stets die feste Richtung der Polarachse behalten soll. Die Drehung

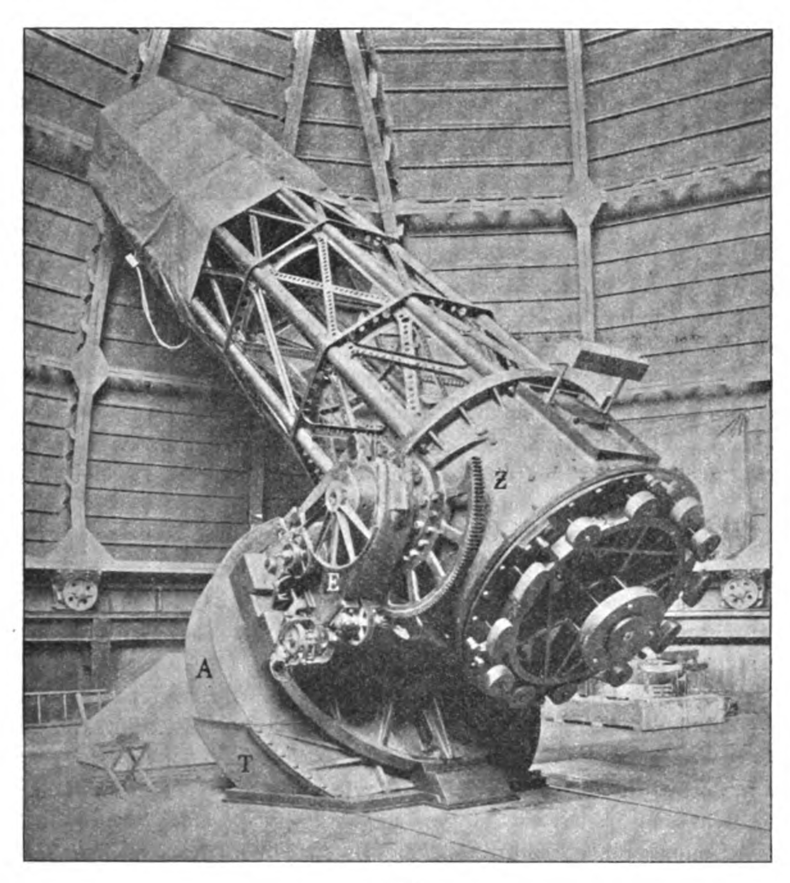


Fig. 4.

dieses Spiegels wird nun durch den Sektor *E* (Fig. 4) bewirkt, der seinen Antrieb durch geeignete Zahnradübertragung von demselben Motor erhält, der auch das ganze Instrument mittels des Zahnkranzes *Z* in Deklination dreht.

Nur der untere, den Hauptspiegel tragende Teil des Teleskops wird durch ein massives gußeisernes Rohrstück gebildet; der obere Teil, der nur die kleineren Spiegel zu tragen hat, ist in Form eines achteckigen Gerüstes aus Stahlrohren und geeigneten Verbindungsstücken leicht und trotzdem sehr fest aufgebaut. Der Hauptspiegel ist nicht nur am Rande fest aufgelagert, sondern der größte Teil seines Gewichtes wird durch ein System von Gegengewichten getragen, die am Boden des Teleskops sichtbar sind.

Eine Hauptschwierigkeit bei der Benutzung großer Reflektoren besteht in der Verbiegung der Spiegelflächen bei Temperaturschwankungen. Um diese tunlichst zu verhindern, wurden verschiedene Vorsichtsmaßregeln getroffen. Zunächst ist das ganz aus Eisen konstruierte Kuppelgebäude von 17,7 *m* Durchmesser, in welchem das Teleskop aufgestellt ist,

so gebaut, daß es während der heißen Tagesstunden luftdicht gegen die Außenluft abgeschlossen werden kann. Es hat eine doppelte Wandung aus Stahlblech mit einem Zwischenraume von 60 *cm*. Sodann kann über die Kuppel zum Schutze gegen die direkte Bestrahlung durch die Sonne noch auf einem besonders vorgesehenen Gitterwerk ein luftiges Schutzdach aus Segelleinen ausgespannt werden.

Als der große Spiegel im Jahre 1907 in der Werkstatt in Pasadena vollendet war, stellte Prof. Ritchey besondere Versuchsreihen an, um zu ermitteln, welche Temperaturschwankungen noch zulässig seien, ohne daß die Bilder merklich verschlechtert würden. Im Laboratorium konnte die Lufttemperatur in genau kontrollierbarer Weise beliebig geändert werden. Dabei zeigte es sich, daß selbst eine tägliche Temperaturänderung von 1° Fahrenheit eine Verschlechterung der Randzone des Spiegels bewirkte, die mit der angewandten Foucaultschen Prüfungsmethode noch gut nachzuweisen war. Prof. Ritchey kam zu dem Schlusse, daß der Spiegel bei seiner Verwendung zu astronomischen Beobachtungen höchstens täglichen Temperaturschwankungen von 2° F. ausgesetzt werden durfte, wenn nicht die Güte der Bilder merklich leiden sollte.

Seit Juli 1909 wurde das Teleskop in dem oben beschriebenen Kuppelgebäude benutzt, jedoch wurde zunächst das vorgesehene Schutzdach aus Segelleinen nicht angebracht. An klaren Sommertagen betrug dann die tägliche Temperaturschwankung in der Kuppel 20° F. Hierdurch wurden nicht allein die Spiegelflächen so verbogen, daß die Bilder stark verschlechtert wurden, sondern das Stahlgerüst des Teleskops dehnte sich im Laufe des Tages auch so stark aus, daß während der nächtlichen Beobachtungen eine Zusammenziehung um etwa 1 *mm* erfolgte.

Durch Anbringung des Segeldaches sanken diese Schwankungen auf die Hälfte herab; sie blieben aber immerhin noch störend. Es wurde daher eine Art Baldachin aus mehrfachen, gesteppten Wolldecken, die über ein Holzgerüst gespannt und luftdicht miteinander verbunden sind, hergestellt. Nach Beendigung der Beobachtungen wird der untere, den Spiegel enthaltende Teil des Teleskops luftdicht in diesen Baldachin eingeschlossen. Hierdurch gelang es, die Schwankung der Lufttemperatur in der Umgebung des Spiegels auf 3,8° F. herabzudrücken. Um auch diesen kleinen Rest noch zu beseitigen, soll die Luft im Innern des Baldachins durch eine mittels eines Thermostaten regulierte Kältemaschine während der heißen Tagesstunden abgekühlt werden.

Um die hervorragende Güte der Bilder in ihrem vollen Umfange ausnutzen zu können, ist bei stundenlangen Belichtungen trotz der geringfügigen Fokusänderungen doch noch eine wiederholte Einstellung der Platte in die beste Bildebene notwendig. Zur raschen und scharfen Auffindung des richtigen Fokus dient die Foucaultsche Messerschneidenmethode. Um diese auch im Laufe der Belichtungen anwenden zu können, wurde ein äußerst exakt gearbeiteter Plattenhalter hergestellt, welcher erlaubt, die Belichtung beliebig oft zu unterbrechen, an die Stelle der Kassette die Schneideneinrichtung zu setzen und dann nach vollzogener Fokussierung die Belichtung auf der früheren Platte wieder fortzusetzen.

Der zweiten Abhandlung sind die Reproduktionen einiger mit dem Teleskop gemachter Aufnahmen beigefügt, die wenigstens eine entfernte Vorstellung von der Leistungsfähigkeit dieses herrlichen Instruments geben. *J. H.*

Der Senk-Mareograph, ein Instrument zur Aufzeichnung der Gezeiten an den Küsten und auf offenem Meer.

Von L. Favé. *Annales hydrographiques 1910.*

In *dieser Zeitschr.* **23.** *S. 334. 1903* hat Mensing seinen Hochseepegel beschrieben, der auf dem Prinzip des Differentialmanometers beruht und die Möglichkeit gewährt, den Flutwechsel auf Punkten des freien Meeres (bei einer Wassertiefe von nicht über 200 *m*) durch ein auf den Meeresgrund gestelltes, selbsttätig arbeitendes Registrierinstrument während eines Monats festzustellen. Auch in den Marinen anderer Staaten sind Versuche gemacht worden, einen zuverlässigen Apparat zur automatischen Aufzeichnung der mit Ebbe und

Flut veränderlichen Wasserstände herzustellen. Der Senk-Mareograph von Favé („*Marégraphe plongeur*“) ist ein weiteres Instrument dieser Art, dessen Anfänge auf 20 Jahre zurückgehen (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* ***12.*** *S. 171. 1892*); es registriert nicht direkt die Wassertiefe, sondern den Druck, dem das auf dem Boden des Meeres stehende Instrument ausgesetzt ist. Das wesentliche Organ des Instruments sind zwei Bourdonsche Manometerröhren, deren Inneres mit dem Meerwasser in Verbindung steht; zwei an diesen Röhren angebrachte Spitzen entfernen sich voneinander, wenn der Druck wächst, und dieser wechselnde Abstand wird, ohne irgendwelche mechanische Vergrößerung, auf einer durch ein Uhrwerk in Drehung versetzten Glastafel automatisch aufgezeichnet. Die Glastafellinie wird nachher durch ein Mikrometermikroskop ausgemessen. Eine automatisch wirkende Differential-Anordnung macht die Empfindlichkeit des Instruments fast vollständig unabhängig von der Höhe der Wassersäule darüber. Während des Niederlassens des Instruments auf den Meeresgrund tritt nämlich die in einem Kautschukballon immer mehr komprimierte Luft in die die Bourdon-Röhren enthaltende Büchse; der auf diese Röhren von außen wirkende Druck hält so genau dem im Innern wirksamen Wasserdruck das Gleichgewicht, und die Krümmung der Röhren erleidet keine Veränderung. Der Lufteintritt wird aufgehoben, sobald ein unterhalb des ganzen Apparates aufgehängtes Gewicht den Boden berührt, und von da an wirken auf die Bourdon-Röhren die *Variationen* der über dem Instrument vorhandenen Wassersäule. Das zur späteren Ausmessung der Glasplatte bestimmte Schraubenmikrometer hat eine Schraube von $^1/_3$ *mm* Ganghöhe.

Die Schrift enthält außer einer genauen Beschreibung des Instruments (Abschnitt II) die vollständige Gebrauchsanweisung für das offene Meer (Abschnitt III; dabei sind Meerestiefen kleiner und größer als 15 *m* zu unterscheiden).

Über die Wirkung des Instruments liegen bereits günstige Erfahrungen, besonders von L. Driencourt, vor (Gebrauch des *Marégraphe plongeur* (*Système* Favé), *Annales hydrographiques 1910*). Die Beobachtungen sind auf verschiedenen Punkten unfern der französischen Küsten erhalten worden; bei einer der Messungsproben zeigt z. B. der Vergleich der Angaben des fest aufgestellten Mareographen in Le Hâvre und der des in der Nachbarschaft versenkten Faváschen Instruments fast vollständige Übereinstimmung. Ebenso berichtet Godfroy (*a. a. O.*) über günstige Resultate mit dem Apparat auf der Charcotschen Südpolarexpedition; endlich geben Favé und Driencourt (*Compt. rend.* ***151.*** *S. 807. 1910*) kurze Nachricht über Versuchsmessungen im Kanal und in der Nordsee (1907 in der Seinebucht in Tiefen bis 40 *m*, 1909 in der Nähe von Boulogne, 1910 bei Dünkirchen und in der Nordsee). Von großem Interesse sind die Messungen in der Nordsee zur Untersuchung der Annahme von Whewell (1836), die Gezeitenwelle der Nordsee drehe sich um einen bestimmten Punkt, in dem keine Vertikalbewegung des Wassers vorhanden sei; Hewett hat 1840 einen solchen Punkt feststellen zu können geglaubt: er schrieb die durch genaue Lotungen beobachteten Unterschiede der Wassertiefe (an einem Tag bis 76 *cm*, am folgenden bis 30 *cm*) dem Umstand zu, daß die Lotungen nicht genügend genau auf demselben Punkt gemacht seien. Die Messungen von Driencourt auf diesem „amphidromischen“ Punkt (Harris, *Manual of Tides*) der südlichen Nordsee in 52° 29′ n. Br., 0° 47′ östl. L. von Paris mit dem „*Marégraphe plongeur*“ am 24. und 25. Aug. 1910 haben eine Amplitude von 60 *cm* gezeigt (Hoek van Holland rd. 1 *m*, Ymuiden rd. 2 *m*). *Hammer.*

Versuche über Schalldurchlässigkeit, Schallreflexion und Schallabsorption.

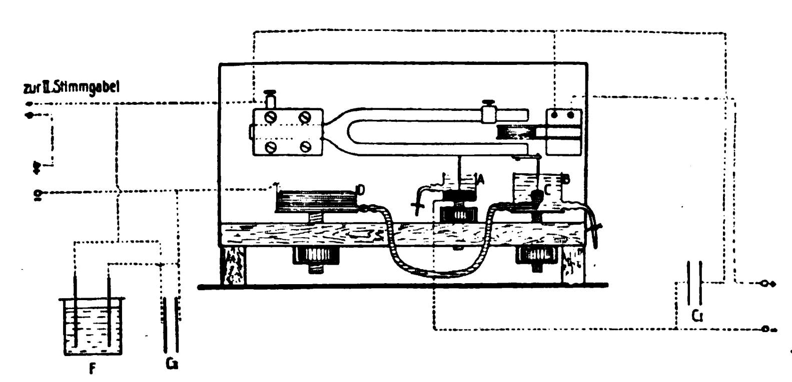
Von F. Weisbach. *Ann. d. Physik* ***33.*** *S. 763. 1910.*

Der Verf. veröffentlicht in dieser Arbeit wertvolle Untersuchungen über Schall-Durchlässigkeit, -Reflexion und -Absorption verschiedener Materialien.

Für diese Untersuchung war vor allem erforderlich die Konstruktion einer Schallquelle von meßbar veränderlicher Intensität und eines Schallempfängers, der die Intensität des Schalles an einer beliebigen Stelle des Raumes zu messen gestattet. Daher nimmt die Beschreibung dieser Apparate in der Arbeit einen größeren Raum ein. Da sich die Apparate

gut bewährt haben, und da solche Instrumente wichtig sind für alle Messungen der Schallintensitätsverteilung in offenen und geschlossenen Räumen und der Intensitätsänderung durch Veränderung der den Raum einschließenden Wände — Messungen, die von großer praktischer Bedeutung sind, — so mögen auch hier zunächst diese Apparate etwas eingehender beschrieben werden.

Als Schallquelle diente eine elektromagnetisch erregte Stimmgabel auf Resonanzkasten. Der die Stimmgabel bewegende elektrische Strom wurde durch einen Stimmgabel-Unterbrecher mit genau gleicher Stimmgabel (Schwingungszahl bei der Belastung durch die Kontakte und Ausgleichgewichte 236) unterbrochen. Die Größe der Amplitude (Intensität der Schallquelle) wurde dadurch bestimmt, daß mit Hilfe eines Mikroskops die durch die Stimmgabelbewegung verursachte scheinbare Verbreiterung eines seitlich beleuchteten Ritzes gemessen wurde, der auf einem auf der Gabel aufgekitteten blanken Metallblättchen gezogen war. Der Stimmgabelunterbrecher ist in der Figur abgebildet. Die Stimmgabel ist sehr fest auf Eisenklötzen montiert. Die Erregung geschah durch Akkumulatorenstrom von 4 Volt Spannung, der durch den Quecksilberkontakt A unterbrochen wurde. Der untere Teil des an der Stimmgabelzinke befestigten Unterbrecherstiftes war aus Platin. Über dem Quecksilber befand sich etwas absoluter Alkohol, der durch einen Hahn bequem abgelassen und erneuert werden konnte, sodaß die Kontaktflächen erhalten blieben. Am Ende derselben Zinke war zur Unterbrechung des Stromes, der die als Schallquelle dienende Stimmgabel antrieb (12 bis 20 Volt Spannung), ein zweiter Eisenstift mit Platinspitze eingeschraubt. Dieselbe traf bei der Bewegung auf die Kuppe von Quecksilber bei C, welches sich in einem pfeifenähnlichen Glasrohr befand und mit dem größeren Behälter D kommunizierte. Die Unterbrechungsstelle war in absolutem Alkohol. Die Kuppe blieb stets rein, da die verschmutzten, von der Platinspitze während der Bewegung abfliegenden Quecksilbertröpfchen von der Kuppe herunterrollten. Der Behälter D diente dazu, das Niveau der Kuppe konstant zu halten. Zur Vermeidung bezw. Schwächung der Funkenbildung wurde sowohl dem Unterbrecher C wie auch dem Unterbrecher A ein Kondensator von 1 bis 8 Mikrofarad parallel geschaltet, dem Unterbrecher C außerdem ein Flüssigkeitswiderstand F wegen der unregelmäßigen Entladungen des Kondensators C_{II}.



Zeitweilig kam an Stelle dieser Schallquelle ein Telephon zur Verwendung, das durch den Strom eines Sinusinduktors von Hartmann & Braun erregt wurde. Diese Anordnung hatte den Vorteil leicht meßbarer Veränderung der Schallintensität und des raschen An- und Abklingens des Tones.

Als Empfangsapparat diente ein lautsprechendes Telephon (seltener ein Mikrophon) mit einem in seiner Länge veränderlichen Resonanzrohr an Stelle des gewöhnlichen Schalltrichters. Die Empfindlichkeit des Apparates ist für die meisten Zwecke völlig genügend groß und bleibt auch bei Ortsveränderungen des Apparates und den damit verbundenen leichten Erschütterungen konstant. Der im Telephon induzierte Strom wurde mit einem Saitengalvanometer von Edelmann (Permanentmagnet, Goldfaden von 100 Ohm Widerstand) gemessen. Von Wichtigkeit für die Einfachheit der Messung war die Beobachtung, daß die Ausschläge genau proportional den Stromstärken sind, wenn man nur bei jedem Ausschlag die Saitenspannung so ändert, daß Resonanz vorhanden ist, d. h. daß maximaler Ausschlag eintritt.

Die Brauchbarkeit der beiden Instrumente zur Untersuchung von Schallintensitäten wurde nun zunächst dadurch experimentell gezeigt, daß vollkommene Proportionalität zwischen den Galvanometerausschlägen und den Amplituden der Stimmgabel, die als Schallquelle diente, nachgewiesen werden konnte.

Zur Bestimmung der Durchlässigkeit verschiedener Materialien wurde das Aufnahmetelephon mit Resonator in ein mit quadratischer Öffnung (35 *cm* Seitenlänge) versehenes Turmzimmer gestellt und die Stimmgabel außerhalb desselben so angebracht, daß die Zimmeröffnung gerade zwischen den beiden Apparaten lag und die Öffnung des Resonanzkastens der Stimmgabel gegen die Mitte der Zimmeröffnung gerichtet war. Es wurde nun einmal die Intensität im Aufnahmetelephon gemessen, wenn die Zimmeröffnung mit der zu untersuchenden Platte bedeckt war, und dann, wenn sie frei war.

Die Messung der Resonanz geschah auf folgende Weise. Der Ton wurde in einem mehr als 2 *m* langen Resonanzrohr (von veränderlicher Länge) von 25 cm lichter Weite erzeugt, dessen eines Ende mit den auf Reflexion zu untersuchenden Platten verschlossen wurde. Das Telephon konnte mittels eines Schiebers nacheinander in den Schwingungsbauch und den Schwingungsknoten der sich ausbildenden stehenden Wellen gebracht werden. Aus dem Verhältnis der Intensitäten an diesen beiden Stellen läßt sich die reflektierte Schallmenge in Bruchteilen der ankommenden berechnen. Es sind an diesen der Rechnung zugrunde zu legenden Beobachtungswerten einige Korrektionen anzubringen, die nicht in allen hier behandelten Fällen sich mit Sicherheit angeben ließen, so daß nicht für alle untersuchten Materialien der reflektierte Betrag angegeben werden konnte.

Die Absorption wurde in der Weise gemessen, daß der Unterschied zwischen der Reflexion an einer Marmorplatte und der Reflexion bestimmt wurde, die beobachtet werden konnte, wenn zwischen Resonanzrohr und Marmorplatte sich die untersuchte Substanz befand.

Theoretische Überlegungen ergaben, daß die reflektierte Menge und die durchgelassene Menge nur von der Masse der Platte pro Flächeneinheit abhängig ist, nämlich daß, wenn I die Intensität einer normal zur Platte einfallenden Schallwelle bezeichnet,

$$I' = I \frac{\mu^2}{\mu^2 + x^2}$$

und

$$I'' = I \frac{x^2}{\mu^2 + x^2}$$

die reflektierte bezw. die durchgelassene Menge ist (μ = Masse der Scheibe pro cm^2 Oberfläche, $x^2 = 0{,}003$). Vorausgesetzt sind hierbei *dünne* Platten mit geringer Absorption. Die Formeln konnten gut bestätigt werden in den Fällen, wo es gelang, die Ausbildung transversaler Schwingungen der Platten oder die Mitwirkung der Luft in porösen Platten auszuschalten, was nicht immer möglich war (z. B. Drahtgaze). Auf der Ausbildung transversaler Eigenschwingungen der Platten beruhen auch Erscheinungen, die man zuweilen im täglichen Leben beobachten kann, und die den gewonnenen Resultaten nicht ganz zu entsprechen scheinen. Der Verf. spricht seine Erfahrungen in dieser Richtung folgendermaßen aus:

„Im täglichen Leben bemerkt man häufig Erscheinungen der Reflexion, wie sie in diesen Untersuchungen behandelt sind, z. B. bei Wandverkleidungen, dünnen Holzwänden, Holzschränken, Glasfenstern u. s. w. sind meist Holzplatten hohl eingespannt, so daß sie leicht in Transversalschwingungen versetzt werden können. Sie absorbieren also einen Teil der ankommenden Schallenergie, wandeln ihn zum großen Teil in eigene Bewegungsenergie um und wirken dann wie eine Schallquelle, indem sie die Luft in Schwingungen versetzen, was oft noch eine Zeitlang fortdauert, wenn auch der ursprüngliche Ton schon erloschen ist. Deshalb wirken solche Wände zerstreuend und geben keine scharfe (harte) Reflexion (im Gegensatz z. B. zu dicken Steinwänden). Wie wir sahen, lassen poröse Körper, z. B. Watte, Kork, also auch grobe Asche, reichlich viel Schall durch. Feste Wände dagegen haben den Nachteil, daß sie den Schall, den sie einmal aufgenommen haben, und der bei einer großen Aufnahmefläche immerhin reichlich sein kann, vorzüglich leiten, außerdem noch mehr durchlässig erscheinen, wenn sie transversale Schwingungen ausführen können. Zu Isolations-

zwecken wird man daher, wie schon üblich, Doppelwände benutzen, den Zwischenraum aber statt mit grober Asche mit dickem und vor allem weichem Filz o. dergl. Material anfüllen und dabei darauf achten, daß die Wände möglichst wenig Transversalschwingungen ausführen können. Nebenbei ist zu beachten, daß die Durchlässigkeit nach einem kleinen Raume infolge geringerer Zerstreuung größer erscheint als nach einem großen Raume." *S. V.*

Spezial-Kompensationsmetall zur Hervorbringung relativ großer Bewegungen bei Temperaturänderungen.

Von W. Grix. *Physikal. Zeitschr.* **12.** *S. 72. 1911.*

Der Verf. hat Metall-Bilamellen aus Messing und Spezialstahl nach einem patentierten Verfahren durch Schweißen herstellen lassen. Da als Wärmeausdehnung des verwendeten Stahles 1,1 μ pro Meter und Grad angegeben ist, handelt es sich vermutlich um Nickelstahl. Die Bilamellen sollen zur Hervorbringung starker Deformationen bei Temperaturänderungen dienen; die Bezeichnung „Kompensationsmetall" ist demnach vielleicht nicht ganz treffend gewählt. Die Metallstreifen haben sich bei Temperaturen bis 300° bewährt. Grix zeigt ferner, daß man durch geeignete Verbindung von Bilamellen die thermische Deformation vervielfältigen kann. Er kommt dadurch auf Kombinationen, welche dem Uhrmacher zum Teil bereits bekannt sind. Die Metallstreifen können vom Mechaniker des elektrotechnischen Instituts der Technischen Hochschule in Danzig bezogen werden. *G.*

Die Flächenhelle und ein neues Instrument zur Messung derselben.

Von J. S. Dow und V. H. Mackinney. *The Electrician* **66.** *S. 86. 1910.*

Eine Milchglasplatte, welche von einer kleinen Metallfadenlampe Licht empfängt, beleuchtet durch eine verstellbare Blende besonderer Konstruktion hindurch den Photometerschirm. Dieser besteht aus einer auf einer Glasplatte niedergeschlagenen, ringförmig angeordneten, mattweißen Substanz und aus einer zum Schutze gegen Luft und Feuchtigkeit darübergelegten zweiten Glasplatte. Der Beobachter blickt auf den Photometerschirm sowie durch dessen Öffnung auf die zu messende Fläche und reguliert mittels der Blende, bis beide Vergleichsfelder gleich hell erscheinen. Der Photometerschirm ist so aufgestellt, daß die an seinen Glasflächen gespiegelten Strahlen der Milchglasplatte nicht ins Auge gelangen. Die *Flächenhelle* wird unmittelbar an einer nach *foot-candles* geteilten Skale abgelesen; sie wird nämlich nicht in Kerzen pro *qcm*, sondern aus praktischen Gründen durch diejenige Beleuchtung in *foot-candles* gemessen, mit der man eine absolut weiße Fläche beleuchten müßte, um eine äquivalente Flächenhelle zu erzeugen. Die Skale, welche von 1 bis 0 *foot-candle* geht, ist teils rechnerisch, teils empirisch bestimmt; nach Angabe der Verf. ist sie auf ihrer ganzen Länge auf mindestens 5% genau. Die Eichung des Apparates, welchen die Verf. „Lumeter" nennen, erfolgt mittels einer Normallampe, welche einen dem Photometerschirm ähnlichen Schirm ohne Öffnung aus bestimmter Entfernung beleuchtet, durch Verschieben der Metallfadenlampe. Leider ist nicht ersichtlich, ob die Verf. hierbei den Mangel in der Weiße des Eichschirmes und den Lichtverlust in seiner vorderen Glasplatte in Rechnung ziehen. Für *Beleuchtungs-* und *Lichtstärken*-Messungen wird als Meßschirm eine Tafel aus mattweißem Karton oder Zeichenpapier bezw. eine Milchglasplatte in der bekannten Weise benutzt. Zur Erläuterung der vielfachen Anwendbarkeit des Photometers werden verschiedene interessante Versuchsergebnisse mitgeteilt. Beispielsweise wurde die Flächenhelle eines in einem Schaufenster ausgestellten Gegenstandes zu 50 *foot-candles* bestimmt (das sind rund 600 Hefner-Lux, sodaß dieser Gegenstand eine Lichtstärke von $600/(10000\,\pi)$ oder rund 0,02 HK auf 1 *qcm* besitzen würde).

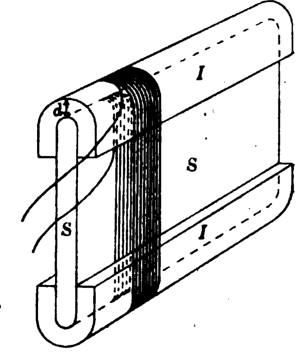
Die ganze photometrische Einrichtung ist in einem tragbaren Kasten, die zum Speisen der Metallfadenlampe dienende Akkumulatorenbatterie außerhalb desselben untergebracht. Ein Voltmeter zur Regulierung der Metallfadenlampe wird dem Apparate nicht beigegeben. Hierdurch wird allerdings im allgemeinen die Genauigkeit der Messungen herabgesetzt; allein die Verf. legen bei diesem Photometer das Hauptgewicht auf Tragbarkeit und billigen Preis.

E. Lb.

Über eine Kompensation der Kapazität in großen Widerständen.

Von E. Orlich. *Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch.* **12.** *S. 949. 1910.*

Die Kompensation der Kapazität wird dadurch erreicht, daß dem Widerstand eine gewisse Selbstinduktion erteilt wird. Der Draht wird zunächst unifilar auf eine Schieferplatte S von 3 bis 4 *mm* Dicke in einer Lage aufgewunden; dann werden über die bewickelten Kanten zwei mit Nuten versehene Stücke I (vgl. die Figur) aus Isoliermaterial gelegt, und es wird über die Stücke I hinweg mit entgegengesetzter Windungsrichtung zurückgewickelt. Durch Vergrößern des Abstandes d der beiden Wicklungshälften wird die Kapazität verringert, die Selbstinduktion vergrößert. Eine theoretische Betrachtung ergibt, daß $d = 0{,}0015\, W/n\; cm$ gewählt werden muß, wo W den Gesamtwiderstand, n die Windungszahl einer Lage pro *cm* bedeutet. Auf eine sehr genaue Innehaltung des errechneten Wertes für d kommt es nicht an. Es sind Widerstände von 3000 bis 25000 Ohm auf diese Weise gewickelt worden. Messungen ergaben eine beträchtliche Verminderung der Kapazität gegenüber der üblichen Wicklung nach Chaperon und bestätigten die Theorie.



E. O.

Bücherbesprechungen.

E. Orlich, Kapazität und Induktivität. Heft 14 von „Elektrotechnik in Einzeldarstellungen". XII, 294 S. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn 1909. geb. 15 M.

Die Zeiten sind vorbei, wo man ein ganz tüchtiger Elektrotechniker sein konnte, ohne viel mehr als das Ohmsche Gesetz an „theoretischen" Kenntnissen zu besitzen. Mit dem Wechselstrom, den Kabelproblemen, der drahtlosen Telegraphie begehrten die Begriffe Induktivität und Kapazität Einlaß in das tägliche Leben des Elektrotechnikers, und ihre zuverlässige Beherrschung ist nicht ohne erhebliche Kenntnisse der theoretischen Elektrodynamik möglich. Nun sind es ja auch heute noch nicht viele, welche die Theorie wirklich vollständig meistern; sie werden ja wohl auch immer selten bleiben. Aber es gibt ihrer doch eine ganze Reihe, und — was die Hauptsache ist — es haben sich einige von ihnen als erfolgreiche Lehrer für die übrigen erwiesen, indem reine Theoretiker es nicht verschmähten, zu den Anwendungen „herabzusteigen", und andererseits praktische Elektrotechniker den Weg zu den Gipfeln der Theorie gesucht und gefunden haben. Eine überaus erfreuliche Vertiefung und Konsolidierung unserer wissenschaftlichen Elektrotechnik ist die Folge, an der einen sehr großen Anteil auch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Anspruch nehmen darf. Auf ihrem Grunde ist denn auch das vorliegende vortreffliche Buch von Orlich entstanden. Es ist so recht ein Buch nach dem Herzen derer, die aus der innigen Wechselwirkung von Theorie und Praxis das Heil beider erwarten. Und es ist ein Beweis, daß diese recht haben mit ihrer Erwartung.

In seinem ersten Teile bringt es — so könnte man sagen — die Theorie der Praxis; in seinem zweiten die Praxis der Theorie seines Gebietes. Eine in ihrer Kürze und Zielsicherheit meisterliche Skizze der Maxwellschen Theorie wird gebrauchsfertig hingesetzt und zur exakten Definition der Begriffe Kapazität und Induktivität, sowie zur Berechnung der beiden Größen für die praktisch wichtigsten Fälle benutzt. Dann wird die Rolle der beiden Größen in Wechselstromkreisen erörtert, unter Benutzung der symbolischen Darstellung periodischer Vorgänge durch komplexe Größen. Es ist mir kein Werk der elektrotechnischen Literatur bekannt, wo die Grundlagen dieser Rechenmethode ähnlich klar und überzeugend dargestellt und benutzt wären wie hier. Unterteilt wird wie üblich: a) quasistationäre und b) nichtquasistationäre Ströme, wo Kabelproblem und Stromverdrängung eine knappe und klare Behandlung finden.

Am zweiten, praktischen Teile ist generell hervorzuheben, daß vor allen Dingen nur nachgeprüfte und in der Reichsanstalt bewährte Methoden und Erfahrungen mitgeteilt werden; keinerlei papierne Wissenschaft, die versagt, wenn man sie anwenden will. Gegliedert ist: I. Hilfsapparate, wo die für das Gebiet in Betracht kommenden Stromquellen und die Beobachtungsinstrumente beschrieben und besprochen werden. II. Meßapparate, wo A) die Kondensatoren, namentlich auch die modernen Drehkondensatoren und der Preßluftkondensator, B) die Induktionsrollen, namentlich die Normale für Selbstinduktivität und gegenseitige Induktivität, sowie die Variometer für beide Größen, C) die Widerstände besprochen sind. III. Meßmethoden, unterteilt in A) Hilfsmessungen und Allgemeines, wo man vor allem die Frequenzmessungen behandelt findet; B) Meßmethoden mit dem ballistischen Galvanometer; C) Meßmethoden unter Anwendung periodischer Ströme; D) Kapazitäten und Induktivitäten von Kabeln. Im Kapitel C) liegt wohl der Schwerpunkt dieses Teiles. Es ist eine wahre Fundgrube für die Meßtechnik. Wer sich hier der Führung Orlichs anvertraut, für den wird es eine Kleinigkeit, Kapazitäten und Induktivitäten auf Bruchteile eines Prozents genau zu messen. Die meisten der beschriebenen Apparate und Meßmethoden sind den Lesern dieser Zeitschrift bekannt[1]). Den Schluß des Buches macht eine zweckmäßige Tabellen-Zusammenstellung.

Hr. Orlich hat der angewandten Elektrizität mit seinem Buche ein unschätzbares Geschenk gemacht, einmal durch die Zusammenstellung absolut zuverlässiger und von ihm nachgeprüfter Erfahrungen, dann aber eben durch die vorbildliche Art, wie er die Physik zur Bereicherung der Technik und die Technik zur Bereicherung der Physik heranzuziehen verstanden hat. Gegenüber den vielen erfreulichen Seiten kommt auch über den ungewöhnlich hohen Preis des Buches keine Klage auf. Seine Anschaffung bleibt stets eine Kapitalsanlage, die bei der Lektüre und Benutzung des Werkes reiche Zinsen abwirft.

Hermann Th. Simon.

Neue Preisliste von A. Ott in Kempten.

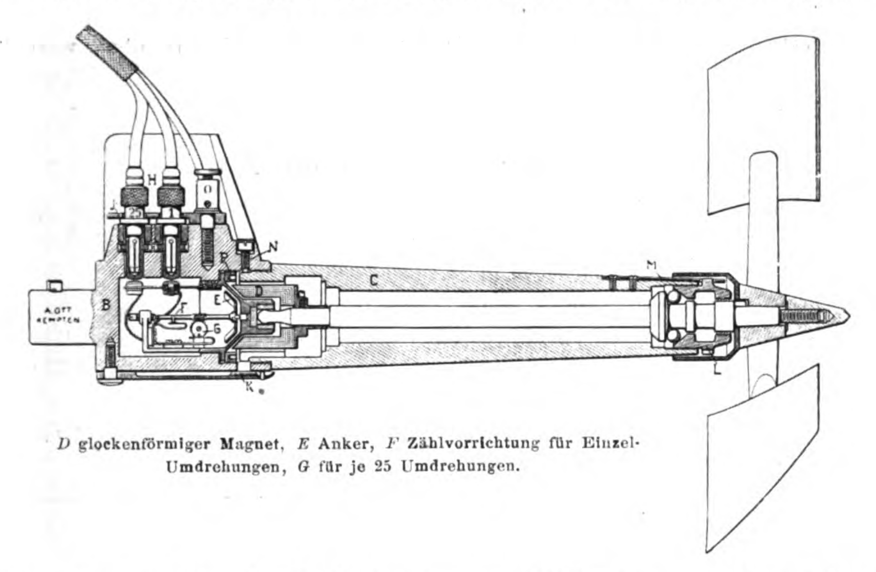
Preisliste III (1910/11): Hydrometrische Flügel mit Zubehör und selbstregistrierende Pegel. 8°. 80 S. m. Fig.

Die vorige Auflage dieser Sonderpreisliste ist in *dieser Zeitschr.* **28.** *S. 85. 1908* angezeigt. Neben der Herstellung von einfachen Polar- und Kompensations-Polarplanimetern und von Hängepantographen ist die Fabrikation von Instrumenten zur Wassermessung immer mehr zur Spezialität der Ottschen Werkstatt geworden, und das vorliegende Heft ist diesen Apparaten allein gewidmet. Schon seit 50 Jahren sind „elektrische“ hydrometrische Flügel bekannt (Ritter in Paris 1859; ein Jahr später Henry. *Lake Survey* der Vereinigten Staaten, mit elektrischem Tourenzähler), allerdings haben aber erst vor 40 Jahren die Konstruktionen von Amsler und von Harlacher diese neue Meßmethode allgemein bekannt gemacht. Dafür ist gerade in den letzten Jahren so intensiv an der Verbesserung der „elektrischen“ Flügel gearbeitet worden, daß die vorliegende Liste sich von ihrer Vorgängerin schon nach zwei Jahren sehr wesentlich unterscheidet und deshalb mit einigen Worten angezeigt sei.

Statt der Flügel an stehender Stange nach Harlacher kamen mehr und mehr die Flügel an hängender Stange (besonders von Epper wieder eingeführt) in Gebrauch; und zu beiden Arten ist in den letzten Jahren für Messungen in sehr tiefem oder sehr rasch fließendem Wasser (Hochwasser) mit immer besserem Erfolg der *Schwimmflügel* und das *„elektrische“ Log* als notwendige Ergänzung hinzugekommen. Vom Schwimmflügel beschreibt Ott (*S. 17a*) eine verbesserte Konstruktion in der Form eines Magnetflügels (s. u.) dessen Gewicht (14 *kg*) so bemessen ist, daß er selbst bei Verwendung bis zu ziemlich beträchtlichen Tiefen keiner besonderen Belastung mehr bedarf, sich aber doch noch aus freier Hand bequem verwenden läßt. Beim Niederlassen auf das Wasser hängt die hintere Seite (Steuerruder) unten, sodaß der Aufschlag mit der Breitseite vermieden ist und bei allmählichem

[1]) Vgl. insbesondere die nach dem Abschluß des Orlichschen Buches ausführlich veröffentlichten Arbeiten von E. Giebe, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 205. 1909*; **29.** *S. 269. 301. 1909*; **31.** *S. 6, 33. 1911.*

Nachlassen des Kabels das Steuer so lange an der Oberfläche des Wassers bleibt, bis der ganze Flügel horizontal eintaucht, und der Flügel sich in dieser Stellung senkt. Wenn der Abstand des Flügels 15 *cm* von der Sohle beträgt, tritt der Grundtaster in Tätigkeit. Einen weiteren bedeutenden Fortschritt für die Hydrometrie reißender Ströme bietet das neue „elektrische Log“ zur Messung großer *Oberflächen*-Geschwindigkeiten (z. B. bei rasch verlaufenden Hochwassern). Ott hat dieses Log mit nachgeschlepptem Propeller auf Veranlassung von Dr. Epper so ausgebildet, daß es einerseits auch für Flußmessungen genau genug ist (es ist ja an und für sich zur Messung von Schiffsgeschwindigkeiten bestimmt, bei denen es auf das *cm* nicht ankommt) und doch selbst bei starker Treibzeugführung im Hochwasser gebraucht werden kann, ohne beschädigt zu werden. Das Instrument, das entweder von einer Brücke aus oder auch vom Ufer aus mit Hilfe eines über den Fluß gespannten Drahtseils mit zweitem, endlosem Drahtseil und Laufkatze gehandhabt werden kann, ist bereits vielfach erprobt. Kleines Treibzeug (Zweige u. s. w.) gleitet ohne weiteres von dem Instrument ab, vor größerem weicht das Instrument aus, oder es gleitet darüber



D glockenförmiger Magnet, *E* Anker, *F* Zählvorrichtung für Einzel-Umdrehungen, *G* für je 25 Umdrehungen.

weg; Versuche von Ott selbst im Illerhochwasser bei Kempten vom 15. Juni 1910, einem Katastrophenhochwasser der Iller mit 950 *cbm* statt normal 50 *cbm*, haben sehr günstige Ergebnisse geliefert. Dabei ist die Genauigkeit der Messung mit diesem Schlepplog bedeutend; in einer dem Ref. vorliegenden Eichungstabelle der Versuchsanstalt für Wasser- und Schiffbau in Berlin für das elektrische Log Nr. 4 vom September 1909 mit Wassergeschwindigkeiten bis zu $v = 4{,}1$ *m* ist die größte Abweichung (bei $v = 1{,}5$ *m*) zwischen dem tatsächlich beim Versuch vorhandenen und dem aus der Loggleichung schließlich berechneten v etwas über 3 *cm*, während die andern Abweichungen 1 *cm* nicht erreichen. Man vergleiche damit die Zahlen, die in *dieser Zeitschr.* ***5.*** *S. 392. 1885* für ein Patentlog veröffentlicht wurden, um den Fortschritt zu würdigen. Es ist hier auch noch zu bemerken, daß bei dieser Eichung des neuen Ottschen Logs das Achsengehäuse mit Petroleum gefüllt war, was einen sehr günstigen Einfluß auf die Regelmäßigkeit der Umlaufsbewegung hat. Bei den Magnetflügeln und Magnetlogs ergibt sich ein wirksamer Schutz des Lagermechanismus ganz von selbst dadurch, daß das Achsengehäuse nur eine einzige Öffnung hat, eben die für die Achse; es kann so im Innern des Gehäuses keine Strömung entstehen, eine Auffüllung des Gehäuses mit Petroleum oder einem andern Schmiermittel erhält sich dauernd (vgl. dazu auch den in dem Aufsatz von Gelcich, „Erfahrungen über einige nautische Instrumente“ in *dieser Zeitschr.* ***13.*** *S. 421. 1893. Z. 12 v. u.* ausgedrückten Wunsch).

Ferner sei aus dem Inhalt des vorliegenden Heftes noch besonders aufmerksam gemacht auf das Steuerruder mit Strompendel (als Rücklaufsignal bei abnormer Wasser-



bewegung) nach Epper, auf die kompendiöse Flügelausrüstung zum Mitnehmen auf die Reise (*S. 53*, Abbildung *S. 9*), endlich auf die wesentliche Verbesserung, die die „Magnetflügel" (Mensing-Ott) in allen ihren Formen erfahren haben. Die frühere Konstruktion ist in *dieser Zeitschr.* **28.** *a. a. O.* abgebildet, die jetzige zeigt die umstehende Figur. Dieser Flügel mit hermetisch verschlossener Kammer für das Kontaktwerk (das deshalb nicht mechanische, sondern magnetische Kupplung hat) ist in stark säure- oder salzhaltigem Wasser ganz ebenso verwendbar wie in anderem. Die Magnetflügel haben denn auch, wie die Tabellen *S. 27* und *S. 74 bis 76* zeigen, bereits außerordentliche Verbreitung erlangt, nicht nur für die normalen hydrometrischen Zwecke, sondern auch zur Messung in städtischen Abwasserkanälen, zum ständigen Einbau in Rohrleitungen, zur Messung der Fahrtgeschwindigkeit von Unterseeboten u. s. f. Neben dem Trockenkontakt bei Mensing-Ott hat sich das Bedürfnis wasserfreier Kontakte auch bei Flügeltypen geltend gemacht, bei denen das genannte Prinzip nicht angewandt werden kann; diese zweite säuresichere Stromschlußvorrichtung ist der „Ölkontakt", bei dem der Kontakt nicht in trocknem, luftdicht verschlossenem Raum wie bei Mensing-Ott, sondern in einer mit isolierendem Öl gefüllten Kammer hergestellt wird und bei dem das Kontaktintervall beliebig reguliert werden kann (*S. 28*). *Hammer.*

Neu erschienene Bücher.

E. Warburg, Lehrbuch der Experimentalphysik für Studierende. 11., verm. u. verb. Aufl. gr. 8°. XXIII, 450 S. m. 432 Originalabbildgn. im Text. Tübingen, J. C. B. Mohr 1910. 7 M.; geb. 8 M.

Cl. Winklers praktische Übungen in der Maßanalyse. 4. Aufl., bearb. v. Prof. Dr. O. Brunck. Lex. 8°. XI, 196 S. m. 27 Abbildgn. Leipzig, A. Felix 1910. 7,20 M.; geb. 8 M.

B. Monasch, Elektrische Beleuchtung. 2., ergänzte Aufl. 2 Tle. in 1 Bd. 8°. XVI, 229 u. 102 S. m. 112 Abbildgn. u. 2 Taf. Hannover, Dr. M. Jänecke 1910. 9,20 M.

Aus Natur und Geisteswelt. Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständl. Darstellgn. kl. 8°. Leipzig, B. G. Teubner. Jedes Bdchn. 1 M.; geb. in Leinw. 1,25 M.

17. L. Graetz, Das Licht und die Farben. 6 Vorlesgn. 3. Aufl. VI, 145 S. m. 117 Abbildgn. 1910.

M. Planck, Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Naturanschauung. Vortrag. gr. 8°. 33 S. Leipzig, S. Hirzel 1910. 1,25 M.

Fr. Kohlrausch, Gesammelte Abhandlungen. Hrsg. v. W. Hallwachs, A. Heydweiller, K. Strecker u. O. Wiener. 1. Bd. Elektrizität, Wärme, Optik, absolute elektrische Messungen u. Verschiedenes. gr. 8°. XXXV, 1108 S. m. 1 Bildnis des Verf., 1 Taf. u. 117 Fig. im Text. Leipzig, J. A. Barth 1910. 25 M.; geb. in Halbfrz. 27 M.

H. Lorenz, Einführung in die Elemente der höheren Mathematik und Mechanik. Für den Schulgebrauch u. zum Selbstunterricht bearb. 8°. V, 176 S. m. 126 Abbildgn. München, R. Oldenbourg 1910. Geb. in Leinw. 2,40 M.

W. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. In 2 Bdn. 1. Bd.: Stöchiometrie. 2., umgearb. Aufl. 3. Abdr. gr. 8°. XIX, 1164 S. m. 173 Holzschn. Leipzig, W. Engelmann 1910. 28 M.; geb. in Halbfrz. 30,50 M.

E. R. v. Schweidler, Praktische Übungen in der Ausführung physikalischer Schulversuche. Ein Leitfaden für Studierende. 8°. 171 S. m. 120 Fig. Wien, F. Tempsky; Leipzig, G. Freytag 1910. Geb. in Leinw. 3 M.

P. Curie, *Traité de Radioactivité.* 2 Bd. gr. 8°. XII, 428 S. m. 1 Porträt, 7 Taf. u. 193 Fig. Paris 1910. 24 M.

B. Mayor, *Statique graphique des Systèmes de l'espace.* 8°. 212 S. m. 16 Fig. u. 7 Taf. Paris 1910. 6,50 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.



Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **April 1911.** Viertes Heft.

Arithmetischer und trigonometrischer Universalrechenapparat nach Hamann.

Von

Ingenieur **K. Hoecken** in Friedenau-Berlin.

Der Erfinder der bekannten Rechenmaschinen „Gauß" und „Mercedes-Euklid"[1]), Hr. Mechaniker Ch. Hamann in Friedenau-Berlin, hat einen neuen Rechenapparat konstruiert, der für die Ausführung trigonometrischer Rechnungen geeignet ist und außerdem noch eine Reihe anderer Rechenoperationen gestattet, die auf logarithmischem Wege, also z. B. mit dem Rechenschieber, nicht möglich sind, wie z. B. die algebraische Vereinigung von Produkten.

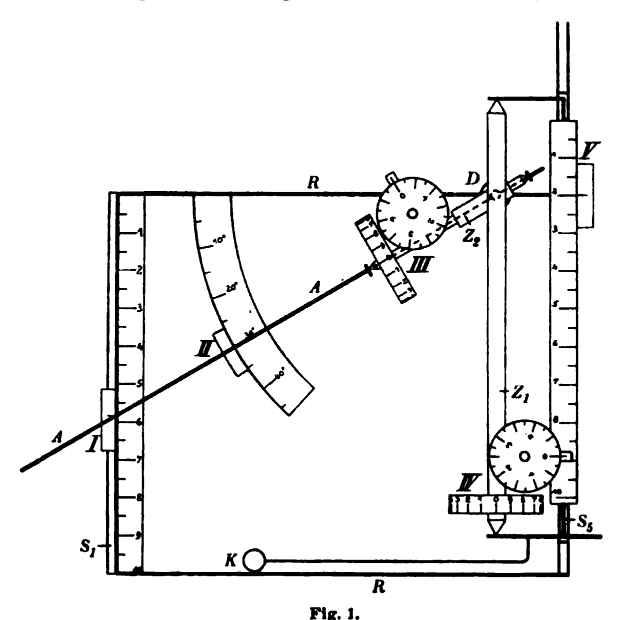


Fig. 1.

Fig. 1 gibt schematisch die Anordnung des Apparates und Fig. 2 eine Gesamtansicht wieder. Auf einem nach vorne geneigten, quadratischen Metallrahmen *RR* von etwa 17 *cm* Seitenlänge befindet sich ein Arm *AA*, welcher bei *D* in einer Büchse drehbar gelagert ist, sodaß derselbe aus seiner Anfangslage, welche mit der oberen Rahmenseite zusammenfällt, nach unten gedreht werden kann, und zwar bis zum Betrage von 45°. Durch einen am Rahmengestell befestigten Gradbogen *II* nebst Nonius kann die Größe des Drehungswinkels ermittelt werden. Auf der linken Rahmenseite ist eine lineare Skale *I* angebracht, deren Nullpunkt mit der Anfangslage des Armes *A* und dem Nullpunkt der Gradteilung zusammenfällt. Der für die Ablesung dieser Teilung vorgesehene Nonius *I* wird einerseits von einer Schlittenführung S_1 im Rahmengestell und andererseits von einer Kurbelschleife im Arm *A* geführt, sodaß er jeder Bewegung des Armes zu folgen vermag und dabei an der Teilung *I* entlang gleitet. Die rechte Rahmenseite enthält ebenfalls eine zur ersteren parallele Schlittenführung S_5,

[1]) Vgl. die Beschreibungen in *dieser Zeitschr.* ***26.*** *S. 50. 1906;* ***29.*** *S. 372. 1909* und ***30.*** *S. 233. 1910.*

in welcher die Skale V sich verschieben kann; ihre Teilung ist mit derjenigen von Skale I kongruent. Dagegen ist der Nonius V seitlich am Gestell befestigt, sodaß er die Ablesung der jeweiligen Verschiebung der Skale V gestattet. Mit dieser gleichzeitig verschiebbar ist ein Zylinder Z_1, der in zwei Ansätzen des Schlittens S_5 zwischen Spitzen leicht drehbar gelagert ist. In ähnlicher Weise ist auf dem hinteren Ende des drehbaren Armes A ein zweiter Zylinder Z_2 gelagert. Durch einen Druck auf den Knopf K kann nun der den Zylinder Z_1 tragende obere Teil des Schlittens S_5 ein wenig nach links gekippt werden, wodurch der Zylinder Z_1 mit dem darunterliegenden Zylinder Z_2 in Berührung gebracht wird. Die Anordnung ist dabei so getroffen, daß der Berührungspunkt in der Verlängerung der Drehachse des Armes A liegt. Bei Freigabe des Knopfes K wird durch eine entsprechend angebrachte Feder die Verbindung zwischen den beiden Zylindern wieder gelöst. Bei einer Verschiebung des Zylinders Z_1 in achsialer Richtung, während er mit Z_2 in Berührung steht, treten nun Drehungen beider Zylinder um ihre Achsen ein, deren Beträge an den Zählvorrichtungen III und IV, ähnlich wie bei einem Planimeter, abgelesen werden können. Beide Zählvorrichtungen haben eine Einrichtung zur automatischen Löschung bezw. Nullstellung. Ferner sind für die Feineinstellung an den Nonien I und V Friktionsrollen vorgesehen.

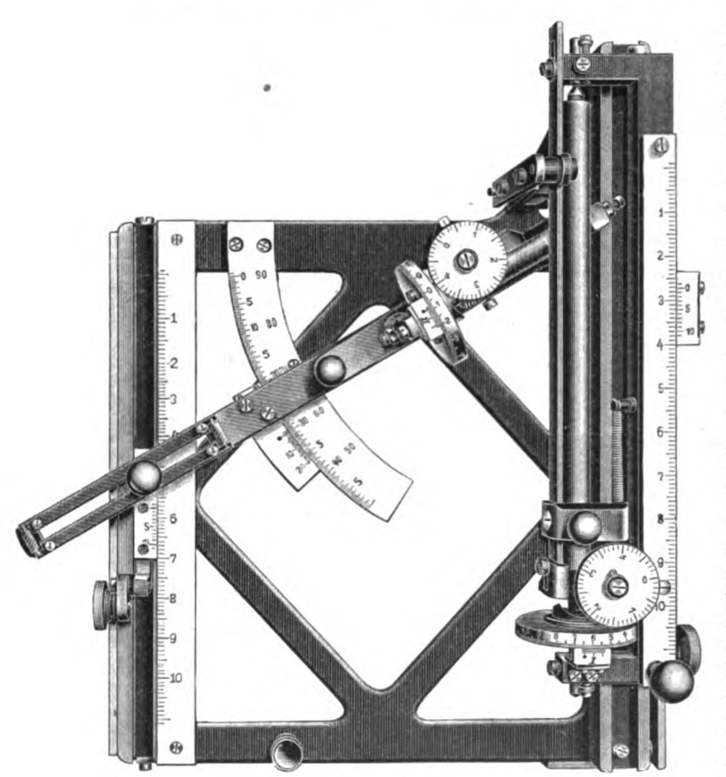


Fig. 2.

Der mathematische Vorgang, welcher sich bei der Benutzung des Apparates abspielt, ist nun der folgende.

In Fig. 3 seien Z_1 und Z_2 die im Punkte P sich berührenden Zylinder, deren Achsen den Winkel $90^0 - \alpha$ miteinander bilden mögen. Durch die Art der beschriebenen Lagerung ist es bedingt, daß die beiden im Punkte P vor Einleitung einer Bewegung zusammenfallenden Oberflächenpunkte der beiden Zylinder sich nach einer ohne gleitende Reibung erfolgenden Bewegung nur in einer Richtung senkrecht zur jeweiligen Zylinderachse auf der Mantelfläche fortbewegt haben werden, also der zu Z_1 gehörige Punkt in der Richtung PA und der zu Z_2 gehörige in der Richtung PB. Denkt man sich also bei Einleitung der Bewegung den Zylinder Z_1 um das Wegeelement ds in der Richtung seiner Achse verschoben, so wird der zu Z_1 gehörende Punkt das Wegeelement dx in der Richtung PA und der zu Z_2 gehörende Punkt das Wegeelement dy in der Richtung PB bei gleichzeitiger Drehung der Zylinder um ihre Achsen zurücklegen, wenn mit x und y die von einem Punkte auf dem Umfange von Z_1 und Z_2 zurückgelegten Wege bezeichnet werden. In diesem Wegedreieck ist

dy Hypotenuse und schließt mit ds den Winkel α ein, wie sich aus der Fig. 3 ergibt. Es bestehen somit folgende Beziehungen:

$$dx = \operatorname{tg}\alpha \cdot ds \qquad dy = \frac{ds}{\cos\alpha},$$

welches die Differentialgleichungen der Wege sind. Da der mit dem Arm A am Nonius II des Instrumentes eingestellte Winkel α als Konstante zu betrachten ist, so ergibt die Integration vorstehender Gleichungen

$$x = s \operatorname{tg}\alpha \qquad y = \frac{s}{\cos\alpha} \quad \text{oder} \quad s = y\cos\alpha,$$

woraus durch Elimination von s noch $x = y\sin\alpha$ sich ergibt. Bezeichnet man nun die Einstellung oder Ablesung an den Nonien I, II, III, IV und V entsprechend mit a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, so bestehen noch folgende Beziehungen, wenn der Abstand der Teilung I vom Drehpunkt D gleich der Einheit gesetzt ist:

$$a_1 = \operatorname{tg}\alpha, \qquad a_2 = \alpha, \qquad a_3 = y, \qquad a_4 = x, \qquad a_5 = s,$$

somit wird

$$a_4 = a_1 a_5 \qquad a_5 = a_3 \cos\alpha \qquad a_4 = a_3 \sin\alpha.$$

Es bedeutet dies nun folgendes. Die Ablesung an der Trommel IV ist stets das Produkt der Einstellungen a_1 an der Skale I und a_5 an der Skale V, woraus also erhellt, daß der Apparat sich zur Multiplikation verwenden läßt. Zu diesem Zwecke hat man also nur den einen Faktor links am Nonius I einzustellen, während man den andern Faktor am Nonius V abschiebt, nachdem zuvor durch Niederdrücken des Knopfes K die Walzen in Berührung gebracht wurden.

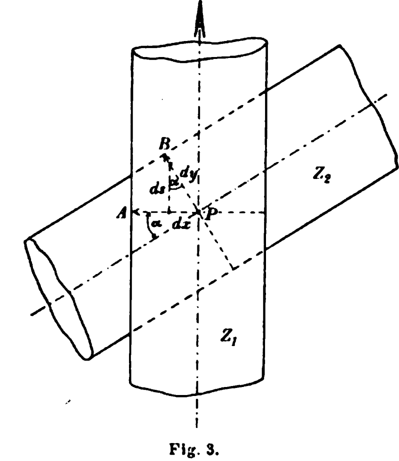


Fig. 3.

Die Division läßt sich selbstverständlich ebenfalls ausführen, indem man den Divisor links an der Skale I einstellt und dann den Schieber S_5 aus seiner Anfangslage bei gekuppelten Walzen so lange nach oben schiebt, bis am Zählwerk IV der Dividend erscheint; dann gibt die Ablesung am Nonius V den gewünschten Quotient an, denn es ist

$$a_5 = \frac{a_4}{a_1}.$$

Dreht man nunmehr den Arm A in seine äußerste untere Lage, die durch einen Anschlag fixiert wird, sodaß $\alpha = 45^0$ wird, dann ist $\operatorname{tg}\alpha = 1$ und somit $a_1 = 1$. In dieser Stellung des Armes A läßt sich nun das Instrument zum Addieren verwenden, denn es wird stets

$$a_4 = a_5;$$

dabei muß man natürlich beim Hinunterfahren des Schlittens S_5 zuvor die Walzen entkuppeln.

Es ergibt sich aus diesem Vorgang ohne weiteres auch, daß das Zählwerk, wenn es nicht jedesmal gelöscht wird, mehrere gebildete Produkte addiert. Wird im entkuppelten Zustande der Walzen ein Wert am Nonius V eingestellt und im gekuppelten Zustande der Schlitten zurückgezogen, so findet eine Subtraktion statt. Die Differenz erscheint am Nonius IV. Hieraus geht auch hervor, daß Differenzen von Produkten gebildet werden können, also allgemein Aufgaben von der häufig auftretenden Form

$$x = ab + cd - ef \ldots$$

Aus den weiteren Gleichungen ist dann ersichtlich, daß ein am Zählwerk *III* eingestellter Wert a_3 sich mit dem sin und cos des bei *II* eingestellten Winkels multipliziert, sodaß also bei *IV* das Produkt $a_3 \sin \alpha$ und bei *V* das Produkt $a_3 \cos \alpha$ durch eine einzige Bewegung des Schiebers erhalten werden kann.

Aus den beiden entwickelten Gleichungen

$$a_5 = a_3 \cos \alpha \qquad a_4 = a_3 \sin \alpha$$

lassen sich noch folgende ableiten:

$$a_3 = a_4 \operatorname{cosec} \alpha \qquad a_3 = a_5 \sec \alpha;$$

ferner durch Division

$$a_4 = a_5 \operatorname{tg} \alpha \quad \text{oder} \quad a_5 = a_4 \operatorname{ctg} \alpha,$$

woraus sich ergibt, daß der Apparat es ermöglicht, die Produkte einer Zahl mit allen sechs trigonometrischen Funktionen zu bilden.

Der Umstand, daß der Gradbogen die Winkelteilung nur bis 45° trägt, bedingt nicht, daß die Einstellung von Winkeln $> 45^0$ nicht möglich sei, da infolge der Beziehungen

$$\sin (45^0 \pm \alpha) = \cos (45^0 \mp \alpha)$$

bei der Benutzung desselben Gradbogens nur ein Wechsel der Funktionszeichen eintritt. Am Instrument ist diesem Umstande durch verschiedene Farben der Gradziffern und entsprechende Hinweise Rechnung getragen, wodurch selbst die Ermittlung der Vorzeichen sowie das Einstellen des Winkels für alle vier Quadranten keine weitere Gedankenarbeit erfordert, wie dies bei Benutzung trigonometrischer Tafeln stets der Fall ist.

Durch eine an dem Instrument leicht anzubringende Einrichtung läßt es sich dann auch zu Rechnungen gebrauchen, für die die Verwendung der Hyperbelfunktionen zweckmäßig erscheint.

Denkt man sich nämlich die Bewegung des Armes *A* und des Schiebers S_5 zwangläufig miteinander dadurch verbunden, daß an dem Arm *A* ein Kreisbogen vom Radius 1 befestigt ist, über welchen eine Schnur oder feine Gliederkette in einer Rille gelegt ist, während ihr anderes Ende über eine kleine Rolle in der Verlängerung der Schlittenführung S_5 läuft und mit dem Schieber der Skale *V* fest verbunden ist, so wird bei einer Bewegung des Schiebers nach oben der von diesem zurückgelegte Weg sich gleichzeitig auf dem Kreisbogen abwickeln, wodurch der Arm *A* einen entsprechenden Winkel zurücklegt.

Die mathematische Betrachtung dieses Vorganges ergibt dann folgendes.

Die eingangs entwickelten Differentialgleichungen der Wege gelten auch jetzt noch, sodaß wir haben

$$dx = \operatorname{tg} \alpha \cdot ds \qquad dy = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot ds;$$

für die Integration ist aber nunmehr zu berücksichtigen, daß α nicht mehr konstant, sondern von s abhängig ist, und zwar ist, wenn, wie erwähnt, der Radius des Kreisbogens gleich 1 gemacht wird,

$$ds = d\alpha,$$

sodaß

$$dx = \operatorname{tg} \alpha \cdot d\alpha \qquad dy = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot d\alpha$$

wird. Wir erhalten dann für die Wege

$$x = \int_0^\alpha \operatorname{tg} \alpha \cdot d\alpha \qquad y = \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{\cos \alpha},$$

oder

$$x = \ln \cos \alpha \qquad y = \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2}\right).$$

Der somit am Zählwerk *IV* angegebene Wert $\ln \cos \alpha$ hat wohl keine weitere Bedeutung; dagegen ist die am Zählwerk *III* abzulesende Größe $\ln \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2}\right)$ der zur Breite α gehörige Meridionalteil einer Kugel vom Radius 1, welcher bei der Konstruktion von Seekarten und beim Segeln in der Loxodrome Verwendung findet. Weit wichtiger ist aber seine Beziehung zu den Hyperbelfunktionen.

Wenn nämlich

$$\psi = \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)$$

gesetzt wird, so ist

$$\mathfrak{Sin}\,\psi = \operatorname{tg}\varphi \qquad \mathfrak{Cof}\,\psi = \sec\varphi \qquad \mathfrak{Tg}\,\psi = \sin\varphi \qquad \mathfrak{Cotg}\,\psi = \operatorname{cosec}\varphi,$$

wobei φ der transzendente Winkel heißt.

Um diese Werte zu erhalten, braucht man daher nur bei gekuppelten Walzen den Schieber S_5 so lange nach oben zu schieben, bis am Zählwerk *III* der gegebene Wert ψ erscheint; dann hat sich durch die Vermittlung der Schnur der Arm A auf den transzendenten Winkel φ eingestellt. Ohne die Stellung des Armes A zu verändern, schiebt man jetzt S_5 in seine Null-Lage zurück, löst die Verbindung mit A und schiebt wieder nach oben bei gekuppelten Walzen, bis bei *V* die mit $\mathfrak{Sin}\,\psi$ und $\mathfrak{Cof}\,\psi$ zu multiplizierende Zahl h erscheint.

An den vorher gelöschten Zählwerken *III* und *IV* werden dann die Produkte

$$h \cdot \mathfrak{Cof}\,\psi \quad \text{und} \quad h \cdot \mathfrak{Sin}\,\psi$$

abgelesen. Bei der Berechnung von Seilbahnkurven nach der Gleichung der Kettenlinie würde man hierdurch sogleich die Kurvenordinaten und die Seillängen erhalten.

Auch ohne die Anführung ausführlicher Beispiele wird aus dem vorstehenden die vielseitige Verwendungsmöglichkeit des äußerst sinnreichen und doch so einfachen Apparates zur Genüge hervorgehen, und es braucht wohl kaum darauf hingewiesen zu werden, daß derselbe auch bezüglich seiner mechanischen Ausführung seinem Erfinder alle Ehre macht.

Da auch der Preis ein mäßiger ist, so ist zu erwarten, daß dieses Universalrecheninstrument sich bald auf dem Arbeitstisch des rechnenden Technikers einen dauernden Platz erobern wird.

Friedenau, im Dezember 1910.

Über Empfindlichkeitserhöhung der Drehspulgalvanometer.

Von
E. Dibbern in Kiel.

Die günstigsten Bedingungen, unter denen ein Drehspulgalvanometer verwendet werden kann, sind bekanntlich realisiert, wenn der äußere Widerstand und hiermit zusammenhängend die elektromagnetische Dämpfung auf einen solchen Betrag gebracht sind, daß das System sich gerade im Zustande der Aperiodizität befindet. Denn dann wird einerseits die Einstellungsdauer des Systems in seine Ruhelage ein Minimum, andererseits erhält der bei Verwendung von empfindlichen Drehspulinstrumenten notwendige Ballastwiderstand seinen kleinsten Wert und umgekehrt die Voltempfindlichkeit des Galvanometers ihren größten.

Eine ausführliche Diskussion des aperiodischen Grenzzustandes beim Drehspulgalvanometer hat Hr. Jaeger[1]) in dieser Zeitschrift gegeben; die Beziehungen, die dabei zwischen den Konstanten eines Galvanometers bestehen, lassen sich durch Formeln zusammenfassen, die der bequemeren Übersicht halber im folgenden nochmals zusammengestellt sein mögen.

Es sei K das Trägheitsmoment des Systems, D die Direktionskraft der Aufhängung, $\tau = \pi\sqrt{K/D}$ die Schwingungsdauer, wenn keine Dämpfung vorhanden wäre, C der Reduktionsfaktor und q die dynamische Galvanometerkonstante. Dann ist $C = D/q$, ferner ist die tatsächliche Schwingungsdauer, die erhalten wird, wenn die Galvanometerspule offen schwingt, also nur unter dem Einflusse der Luftdämpfung, $T_0 = \frac{\tau}{\pi}\sqrt{\pi^2 + \Lambda_0^2}$, wo Λ_0 das logarithmische Dekrement der Schwingungen ist. Mit dem Dekrement Λ_0 hängt die Dämpfungskonstante p_0 des offenen Galvanometers durch die Beziehung $p_0 = 2\,K\Lambda_0$ zusammen.

Betrachtet man das Instrument im aperiodischen Grenzzustand, so sei w der äußere Grenzwiderstand, bei dem es aperiodisch wird, und $W = w + w_k$ der Gesamtwiderstand des Schließungskreises, wobei w_k den inneren „Klemmenwiderstand" des Galvanometers bedeutet. Es interessiert nun zunächst hauptsächlich die Voltempfindlichkeit des Instruments. Da der Reduktionsfaktor C die Stromstärke für $57{,}3^0$ Ausschlagswinkel bedeutet, so ist die entsprechende Spannung $C_v = CW$. Für diese Größe C_v, die der Voltempfindlichkeit umgekehrt proportional ist, gibt Hr. Jaeger die Beziehung[2])

$$C_v = \sqrt{\frac{wD}{2\mathfrak{T}}}\,\sqrt{1 + \frac{w_k}{w}}\cdot\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{p_0}{2\mathfrak{T}D}}} = \sqrt{\frac{wD}{2\mathfrak{T}}}\cdot\alpha\beta.$$

Die Voltempfindlichkeit wird ein Maximum, wenn der innere Widerstand w_k und die Dämpfungskonstante p_0 gleich Null werden. Dieser praktisch nicht erreichbare Grenzfall

$$C_v = \sqrt{\frac{wD}{2\mathfrak{T}}}$$

läßt abschätzen, wie günstig ein Drehspulgalvanometer konstruiert ist; das Produkt $\alpha\beta$ gibt den Prozentsatz der erreichten Empfindlichkeit an. Die beiden Faktoren $\beta = 1/\sqrt{1 + \frac{w_k}{w}}$ und $\alpha = \sqrt{1 - \frac{p_0}{2\mathfrak{T}D}}$, welche die erreichbare Empfindlichkeit verkleinern, müssen also möglichst nahe gleich 1 werden. Wie Hr. Jaeger an Zahlenbeispielen für gegebene Galvanometertypen gezeigt hat, ist diese Forderung für Instrumente von mittleren und hohen Widerständen ziemlich gut erfüllt, sodaß die betreffenden Galvanometer in dieser Hinsicht wenig zu wünschen übrig lassen.

Was nun die überhaupt erreichbare Voltempfindlichkeit anbetrifft, so ist hierfür in erster Linie maßgebend, wie klein man die Direktionskraft der Aufhängung unbeschadet der Güte des Nullpunktes machen kann. Zwar gewinnt man ja mit Verkleinern von D verhältnismäßig wenig, da $C_v \sim \sqrt{D}$ ist, außerdem kommt man dabei schnell zu unbrauchbar langen Schwingungsdauern; immerhin ist dies neben tunlichster Verkleinerung des Widerstandes w_k vorläufig der einzige Weg, auf dem

[1]) W. Jaeger, *diese Zeitschr.* **23.** *S. 261, 353. 1903;* ferner *Ann. d. Physik* **21.** *S. 64. 1906,* sowie *diese Zeitschr.* **28.** *S. 206. 1908.*

[2]) Zur Abkürzung ist hier $\tau/\pi = \mathfrak{T}$ gesetzt.

die Empfindlichkeit der Drehspulgalvanometer vergrößert werden könnte. Indem Hr. Jaeger eine Direktionskraft $D = 0{,}5\ g\,cm^2\ \text{Sek}^{-2}$ als kleinste praktisch brauchbare ansieht, kommt er zu dem Minimalwert $C_v = 0{,}5 \cdot \sqrt{w/\mathfrak{T}}$, oder wenn man als Voltempfindlichkeit V den Ausschlag in Millimeter bezeichnet, der der Spule durch eine Spannung von 1 Mikrovolt bei 2000 *mm* Skalenabstand erteilt wird,

$$V = 25{,}3 \sqrt{\frac{\mathfrak{T}}{w}} = 14{,}27 \cdot \sqrt{\frac{\tau}{w}}\ .$$

Von diesem Grenzwert (bei $D = 0{,}5$) sind die tatsächlich erreichten Empfindlichkeiten nicht sehr weit entfernt, wofür vier von Hrn. Jaeger untersuchte Instrumente ein Beispiel geben. Aus seinen Daten habe ich für jedes Galvanometer den Ausdruck $V = A \cdot \sqrt{w/\mathfrak{T}} = B \cdot \sqrt{w/\tau}$ gebildet. $A/25{,}3$ gibt an, wieviel Prozent der maximal mit einem Drehspulgalvanometer erreichbaren Empfindlichkeit erlangt sind. Die Daten für Galvanometer Nr. 1 bis 3 sind der ersten, die für Nr. 4 der neuesten in dieser Zeitschrift enthaltenen Abhandlung entnommen.

Tabelle 1.

Nr.	w Ohm	$\mathfrak{T}$	D[1] $g\,cm^2\ \text{Sek.}^{-2}$	A	B	$A/25{,}3$
1	40	1,1	2,6	6,70	3,78	26,4%
2	600	1,9	0,7	21,15	11,94	83,5 „
3	9700	2,2	0,9	14,74	8,32	58,2 „
4	10	1,75	0,6	14,06	7,93	55,5 „

Abgesehen von Nr. 1, das auch eine verhältnismäßig hohe Direktionskraft besitzt, sind also die Galvanometer als recht günstig konstruiert zu bezeichnen.

Strebt man eine Erhöhung der Empfindlichkeit durch Verminderung der Direktionskraft an, so ist — vorausgesetzt, daß sich geeignete Aufhängebänder von genügend kleinem Querschnitt überhaupt herstellen lassen — damit der Übelstand verbunden, daß durch Verminderung des Querschnittes der Widerstand w_k verhältnismäßig stark wächst, somit der Faktor β abnimmt. Zumal für Instrumente mit kleinem Widerstande würde dieser Umstand stark ins Gewicht fallen. Hier scheint ein Verfahren helfend einzugreifen, mittels dessen Hr. Reinganum[2]) die Direktionskraft von Drehspulsystemen erniedrigen konnte, ohne die Direktionskraft des Aufhängebandes selbst sehr klein wählen zu müssen. Hr. Reinganum hat nämlich ein Drehspulgalvanometer derart „astasiert", daß er am Aufhängedraht der Spule, außerhalb der stärksten Teile des Feldes, ein Eisenstäbchen horizontal und senkrecht zu den Kraftlinien anbrachte, welches in der Ruhelage keine merkliche Induktion erfährt, wohl aber, wenn die Spule gedreht wird; hierdurch wird der Ausschlag größer als ohne Stäbchen. Eine zweite Methode bestand darin, daß er das Eisenstäbchen durch ein parallel den Kraftlinien angebrachtes magnetisiertes Stahlstäbchen ersetzte, dessen Pole denen des Feldes gleichgerichtet waren.

Da in der Reinganumschen Mitteilung nur die Stromempfindlichkeiten angegeben sind, nicht aber der jeweilige Grenzwiderstand, mit dem das Galvanometer nur benutzt werden kann, so sagen die Zahlen über Empfindlichkeitserhöhung nichts darüber aus, wie sehr die vorwiegend interessierende Voltempfindlichkeit vergrößert

[1]) In der gleichfalls zitierten Abhandlung in den Ann. d. Physik ist D für Nr. 1 mit 2,3, für Nr. 2 mit 0,6 angegeben.

[2]) M. Reinganum, *Physikal. Zeitschr.* **10.** *S. 91. 1909.*

worden ist. Ich habe mir daher die Aufgabe gestellt, die Reinganumschen Versuche unter diesem Gesichtspunkt zu wiederholen, worüber im folgenden berichtet werden soll. Es soll hier gleich vorweggenommen werden, daß, wie zu erwarten ist, die Voltempfindlichkeit viel langsamer wächst als die Stromempfindlichkeit; immerhin ist die Erhöhung der Voltempfindlichkeit eine solche, daß die Anwendung des Reinganumschen Verfahrens in manchen Fällen vorteilhaft sein dürfte.

Zu meinen Untersuchungen verwendete ich ein vom Mechaniker des Instituts, Hrn. Schweder, gebautes Drehspulgalvanometer; da es nicht direkt für den vorliegenden Zweck angefertigt war, so mußte ich mich, was das Verschieben der Eisen- und Stahlstäbchen betrifft, mit der verhältnismäßig geringen Strecke von etwa 0,5 *cm* oberhalb des Spiegelträgers begnügen; der kleinste Abstand des Stäbchens vom oberen Rand der Polschuhe betrug dabei 32 *mm*, der größte 37 *mm*. Es dürfte wohl möglich sein, eine Verbesserung durch Vergrößerung dieses Abstandes unter Anwendung größerer Stäbchen zu erzielen; diese Verbesserung würde meines Erachtens darin bestehen, daß auch bei größeren Empfindlichkeiten eine befriedigende Konstanz des Nullpunktes erreicht werden könnte, was bei meinen Versuchen nicht immer möglich war. In der konstruktiven Anordnung unterschied sich das Galvanometer nicht wesentlich von den üblichen Typen des Handels, doch war die aus Emailledraht gewickelte Spule ohne Rahmen hergestellt; die Stromzuführung erfolgte in der meist gebräuchlichen Weise durch das Aufhängeband bezw. eine feine Phosphorbronzespirale; dabei betrug der Klemmenwiderstand des Instruments 37,2 Ohm. Oberhalb des Spiegels war an dem Spulenträger ein vertikal verschiebbarer kleiner Aluminiumträger zur Aufnahme der Stäbchen angebracht.

Im ursprünglichen Zustande war die Schwingungsdauer des Systems bei offener Spule $\tau_0 = 3{,}16$ Sek., die Stromempfindlichkeit 1 *mm* $= 8{,}4 \cdot 10^{-9}$ Amp. bei 2 *m* Skalenabstand. Offenbar war jedoch das System etwas zu leicht für die Aufhängung; eine gute Konstanz des Nullpunktes wurde erst erreicht durch Zufügen eines Gewichts von 1,1 Gramm, das als kleines Bleirohr von 0,85 *cm* Höhe und 0,5 *cm* Durchmesser auf die Achse gesteckt wurde. Da dessen Trägheitsmoment sehr klein war, wurden die Konstanten nur unwesentlich geändert. Das so modifizierte Galvanometer ist im folgenden als Ausgangsinstrument angenommen und soll als Galvanometer Nr. 1 bezeichnet werden. In der nachstehenden Tabelle soll es mit Galvanometer Nr. 1 der Jaegerschen Arbeiten verglichen werden, dem es in seinen Eigenschaften am nächsten kommt.

Tabelle 2.

Galvanometer	D g cm² Sek.⁻²	K g cm²	w_k Ohm	w Ohm	$\mathfrak{T}$ Sek.	Λ_0
Nr. 1 v. Jaeger	2,6	2,9	20	40	1,1	1,92[1])
Nr. 1 v. Dibbern	1,57	1,59	37,2	51	1,00	0,077

Galvanometer	α	β	$\alpha\beta$	$\varepsilon \cdot 10^7$ Volt/Skt.	B	$A/25{,}3$
Nr. 1 v. Jaeger	0,69	0,83	0,57	9[2])	3,78	26,4%
Nr. 1 v. Dibbern	0,988	0,76	0,75	7,71	5,23	36,6 „

[1]) Mit Rahmendämpfung, ohne diese $\Lambda_0 = 0{,}1$.

[2]) Umgerechnet auf 2 *m* Skalenabstand.

Das von mir verwendete Galvanometer ist also etwas empfindlicher als das ihm in den Konstanten ähnliche Galvanometer Nr. 1 von Siemens & Halske.

Direktionskraft und Trägheitsmoment waren nach der Gaußschen Methode durch Zufügen berechenbarer Trägheitsmomente ermittelt worden, wobei die so erhaltenen Galvanometer Nr. 2 und 3 gleichzeitig auf ihre elektrischen Konstanten untersucht wurden. Zwar wird durch die Vergrößerung des Trägheitsmomentes das Dekrement erniedrigt und damit auch der äußere Ballastwiderstand w, sodaß eine geringe Erhöhung der Voltempfindlichkeit ($\sim 1/\varepsilon$) erreicht wurde, doch sind die so erhaltenen Galvanometer ungünstiger konstruiert, was aus der Abnahme des Produkts $\alpha\,\beta$ folgt, und auch unempfindlicher als das ursprüngliche Galvanometer Nr. 1, wenn man auf gleiche Schwingungsdauer (1 Sek.) bezieht, wie dies die Abnahme von B und $\Lambda/25{,}3$ in Tab. 3 zeigt.

Tabelle 3.

Galvanometer	K $g\,cm^2$	$\mathfrak{T}$ Sek.	Λ_0	w Ohm	$\alpha\,\beta$	$\varepsilon \cdot 10^7$ Volt/Skt	B	$\Lambda/25{,}3$
Nr. 1	1,59	1,00	0,077	51	0,75	7,71	5,23	36,6 %
Nr. 2	2,45	1,25	0,064	31	0,67	6,26	4,53	31,7 „
Nr. 3	4,06	1,60	0,053	13	0,50	4,57	3,50	24,5 „

Hr. Jaeger hat in der in den Ann. d. Physik erschienenen Abhandlung[1]) einige Beziehungen gegeben, die ein bequemes Umrechnen der Galvanometerkonstanten erlauben bei Variationen von K, D und q. Ist $\mathfrak{T}' = n\,\mathfrak{T}$, $W' = (w_k + w') = m\,W = m\,(w_k + w)$, so gilt für konstantes D

$$\varepsilon : \varepsilon' = \sqrt{\frac{n}{m}}\,; \qquad q' : q = \sqrt{m\,n}\,; \qquad p'_0 : p_0 = n\,\frac{1 - \alpha'^2}{1 - \alpha^2} = \frac{n\,\Lambda'_0}{\Lambda_0}.$$

Von diesen Beziehungen interessiert hier vornehmlich die erste; bezieht man auf Galvanometer Nr. 1, so erhält man in befriedigender Übereinstimmung

$$\varepsilon_1 : \varepsilon_2 = 1{,}232\,; \quad \sqrt{\frac{n}{m}} = 1{,}271\,; \qquad \varepsilon_1 : \varepsilon_3 = 1{,}687\,; \quad \sqrt{\frac{n}{m}} = 1{,}673\,.$$

Was die im nachstehenden mitgeteilten Versuche mit Eisen- und Stahlstäbchen betrifft, so sei vorausgeschickt, daß es an dem vorhandenen Galvanometer nicht möglich war, den Einfluß von Stablänge, Dicke, Form genauer zu studieren, da die verfügbare Abstandsänderung von der oberen Polebene nur 5 *mm* betrug. Wurden hierbei die Stäbchen einigermaßen groß genommen, so wurde die Null-Lage inkonstant; bei den Stahlstäbchen kam noch der Umstand hinzu, daß sie mit der Zeit ummagnetisiert wurden, wodurch die Empfindlichkeit herabgedrückt wurde. Indessen machen es meine Versuche wahrscheinlich, daß man bei Eisenstäbchen an Empfindlichkeit gewinnt durch Vermehrung des Volumens, also mehr durch Querschnitts- als durch Längen-Vergrößerung. So erhielt ich bei einem Stäbchenabstand von 37 *mm* bei Verwendung von 0,43 *mm* dicken Eisendrähten folgende Werte der Konstanten B, die ein Maß für die Empfindlichkeit geben.

[1]) *a. a. O. S. 76.* Daselbst ist ein Druckfehler untergelaufen, es muß Zeile 9 von unten heißen $K' = n^2 K$ statt $K' = n\,K$; ferner muß es daselbst statt $p'_0 = n\,p_0$ heißen $p'_0 = n\,p_0 \cdot \frac{1 - \alpha'^2}{1 - \alpha^2}$, da durch Ändern des Trägheitsmomentes zwar α kaum geändert wird, wohl aber $(1 - \alpha^2)$.

Zahl der Stäbchen	Länge der Stäbchen	Querschnitt	B
	7,9 *mm*	0,145 mm^2	9,9
3	4,7 „	0,436 „	10,7
5	5,5 „	0,727 „	14,6

Ein Vergleich der verschiedenen magnetisierten Stahlstäbchen bezüglich des Einflusses der Dimensionen ist nicht wohl angängig, da bei dem geringen Abstand die erteilte Magnetisierung[1]) geändert wurde.

Die verschiedenen Galvanometer, die man durch Einbringen von Eisen- bezw. Stahlstäbchen erhält, unterscheiden sich untereinander nur dadurch, daß die Direktionskraft variiert wurde, während das Trägheitsmoment praktisch konstant blieb; es müssen also zwischen den Konstanten dieser Instrumente die Beziehungen gelten, die Hr. Jaeger für K = konst.[2]) gab,

$$\varepsilon : \varepsilon' = \sqrt{\frac{n^3}{m}}\,; \qquad q' : q = \sqrt{\frac{m}{n}}\,; \qquad p' : p = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Lambda_0'}{\Lambda_0}\ ^{3)},$$

wo n und m die schon erwähnte Bedeutung besitzen. In der nachstehenden Tab. 4, welche die Konstanten der so erhaltenen Galvanometer enthält, ist außer der beobachteten Größe ε noch die berechnete angegeben, wie sie relativ zu der von Galvanometer Nr. 1 erhalten wurde. K ist für alle Typen gleich 1,59, ferner w_k = 37,2 Ohm. Außer der der Voltempfindlichheit umgekehrt proportionalen Größe ε ist noch der der Stromempfindlichkeit umgekehrt proportionale Wert S eingetragen, wo $S = \varepsilon/(w_k + w)$ = Amp./Skalenteil bedeutet.

Tabelle 4.

Galv. Nr.	D	w	$\mathfrak{T}$	Λ_0	α	β	$\alpha\beta$
1	1,57	51	1,00	0,0769	0,988	0,760	0,75
4	1.79	43	0,94	0,0718	0,989	0,732	0,72
5	0,70	110,5	1,53	0,117	0,980	0,865	0,85
6	0,52	101	1,75	0,206	0,967	0,855	0,83
7	0,46	101	1,87	0,160	0,974	0,855	0,83
8	0,19	241	2,90	0,218	0,965	0,930	0,90

Galv. Nr.	p_0	q	$\varepsilon_{beob.} \cdot 10^6$	$\varepsilon_{ber.} \cdot 10^6$	$S \cdot 10^9$	B	$A/25,3$
1	0,077	16,5	0,771		8,74	5,23	36,6 %
4	0,077	16,3	0,807	0,810	10,64	4,72	33,0 „
5	0,079	17,4	0,549	0,544	3,72	9,15	64,1 „
6	0,118	15,3	0,434	0,429	3,14	9,85	68,9 „
7	0,087	14.9	0,389	0,386	2,82	10,7	74,6 „
8	0,076	16,9	0.300	0,286	1.03	17,14	120,0 „

[1]) Die Konstanz während der Dauer einer Versuchsreihe war zu den Aufnahmen genügend; doch trat unmittelbar nach dem Einbringen der Stäbchen eine Abnahme der Magnetisierung ein.

[2]) *a. a. O. S. 76.*

[3]) Diese Beziehungen werden durch die Zahlen der Tab. 4 in befriedigender Weise erfüllt; $\varepsilon_{ber.}$ ist aber unter Zugrundelegung der genaueren Formel $\frac{1}{\varepsilon} \sim C_v = \sqrt{\frac{w\,D}{2\,\mathfrak{T}}} \cdot \alpha\,\beta$ gewonnen.

Hierbei sind Nr. 4, 6, 7 durch Einlegen von Eisenstäbchen, Nr. 5 und 8 mittels Stahlstäbchen hergestellt; bei Nr. 4 war das Eisenstäbchen den Kraftlinien parallel gestellt, wodurch, wie zu erwarten war, eine Empfindlichkeitsabnahme bewirkt wurde.

Während die Stromempfindlichkeit, wie der Verlauf von S zeigt, auf das $8^1/_2$-fache erhöht wird, wächst die Voltempfindlichkeit viel langsamer; der größte Wert ist etwa 2,7-mal größer als der Anfangswert. Der Nutzen, den das Einbringen solcher Stäbchen bringt, ist also viel geringer, als es zunächst nach den Reinganumschen Zahlen den Anschein hat. Einen bedeutenden Gewinn an Empfindlichkeit wird man nur dann erzielen, wenn der durch die Versuchsbedingungen bewirkte äußere Widerstand wesentlich größer ist als der zur Erzielung der Aperiodizität erforderliche; in diesem Falle läßt sich der letztere durch passende Stäbchen auf einen höheren Wert bringen unter gleichzeitiger, in diesem Falle bedeutender Empfindlichkeitsvergrößerung.

Die Direktionskraft ist bei einigen meiner Versuche noch unter den Wert 0,5 heruntergedrückt worden, und dementsprechend haben sich Empfindlichkeitswerte ergeben, welche die von Hrn. Jaeger angenommene maximale Empfindlichkeit nicht unwesentlich übertreffen. Während dort die auf 1 Ohm bezogene Spannungsempfindlichkeit maximal den Wert 14,27 $\sqrt{\tau}$ erreichen konnte — tatsächlich erreichter Wert 11,94 $\sqrt{\tau}$ — war meine höchste Spannungsempfindlichkeit pro Ohm $= 17{,}14 \sqrt{\tau}$. Dies gibt für 5 Sekunden Schwingungsdauer 38,3, während die Normalempfindlichkeit des Panzergalvanometers bei dieser Schwingungsdauer zu 40 angegeben wird; das Panzergalvanometer (mit schwerem Gehänge) würde also erst bei längeren Schwingungsdauern als 5 Sekunden eine höhere Normalempfindlichkeit besitzen.

Es ist für die eventuelle Verwendung des Reinganumschen Verfahrens von großer Wichtigkeit, inwieweit dadurch zwei der hauptsächlichsten Vorzüge des Drehspulgalvanometers, die Nullpunktskonstanz sowie die Proportionalität zwischen Stromstärke und Ausschlag, berührt werden. Wie schon erwähnt, war die Güte der Null-Lage nicht ganz so gut wie im ursprünglichen Zustand des Instruments; doch könnte hier möglicherweise durch Vergrößerung des Abstandes der Stäbchen von den Polschuhen Abhilfe geschaffen werden. Was den zweiten Punkt anbetrifft, so ergaben sich Unterschiede bei der Verwendung von Eisen- und Stahlstäbchen. Die Proportionalität war bei Verwendung von Eisenstäbchen nicht gut, während sie bei magnetisierten Stahlstäbchen in der Ausdehnung meiner Versuchsbedingungen erhalten blieb, ein Resultat, das mit Hrn. Reinganums Beobachtungen übereinstimmt. Bei Verwendung von Eisenstäbchen nimmt die Empfindlichkeit mit wachsendem Ausschlag zu, wie zu erwarten ist, da die magnetische Induktion auf das Stäbchen in der Null-Lage — senkrecht zu den Kraftlinien — praktisch Null ist, dagegen mit wachsendem Winkel φ sich einem Grenzwert für $\varphi = 90^0$ nähert. Damit steht im Zusammenhang, daß das in üblicher Weise bestimmte Dekrement Λ_0 des offenen Galvanometersystems mit wachsendem Winkel zunimmt, indem bei größeren Amplituden das rücktreibende Moment an den Umkehrpunkten stärker geschwächt ist als bei kleinen Amplituden. Tab. 5 gibt eine Anschauung von diesen Verhältnissen bei den Galvanometern Nr. 9 und 10, die wegen des sehr starken Auftretens der Erscheinung nicht in Tab. 4 mit aufgenommen sind. Die der Voltempfindlichkeit umgekehrt proportionalen Werte ε sind für verschiedene Spannungen bestimmt; daneben stehen Werte von Λ_0, nach wachsendem Ausschlag geordnet.

Tabelle 5.

Galvanometer Nr. 9.			Galvanometer Nr. 10.		
Spannung	$\varepsilon \cdot 10^7$	Λ_0	Spannung	$\varepsilon \cdot 10^7$	Λ_0
$2,5 \cdot 10^{-5}$	4,53	0,182	$2,5 \cdot 10^{-5}$	5,50	0,120
$5,0 \cdot 10^{-5}$	4,39	0,191	$5,0 \cdot 10^{-5}$	5,40	0,127
$1,0 \cdot 10^{-4}$	4,12	0,199	$1,0 \cdot 10^{-4}$	5,35	0,133
$2,0 \cdot 10^{-4}$	3,78	0,213	$2,0 \cdot 10^{-4}$	5,20	0,135
		0,235			0,137

Je besser bei den übrigen Typen mit Eisenstäbchen die Proportionalität zwischen Strom und Ausschlag erfüllt war, um so konstanter ergab sich das Dekrement.

Zusammenfassend läßt sich aus meinen Versuchen ersehen, daß die durch Variation von Trägheitsmoment und Direktionskraft hergestellten verschiedenen Drehspulgalvanometer den von Hrn. Jaeger aufgestellten gegenseitigen Konstantenbeziehungen folgen. Was die Empfindlichkeitserhöhung mittels des Reinganumschen Verfahrens betrifft, so liefert dieselbe beträchtliche Vergrößerungen der Stromempfindlichkeit, während die Voltempfindlichkeit langsamer als jene wächst. Die Verwendung von magnetisierten Stahlstäbchen dürfte dabei der von Eisenstäbchen vorzuziehen sein; der Abstand von den Polen ist so groß zu wählen, daß eine Ummagnetisierung nicht stattfindet.

Kiel, Physikalisches Institut der Universität.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1910[1]).

A. Allgemeines.

Dienstreisen und Teilnahme an Versammlungen.

Prof. Orlich nahm teil an den von der Vereinigung der Elektrizitätswerke in dem Laboratorium des Städtischen Elektrizitätswerks zu München am 4. und 5. Februar 1910 vorgenommenen Versuchen mit den neuen zweiteiligen Sicherungssystemen Diazed; vom 25. bis 28. Mai 1910 in Braunschweig an der Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker; vom 29. bis 30. September 1910 in München an den Verhandlungen der Prüfstellen-Kommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker. Anschließend hieran besuchte er in Nürnberg am 2. Oktober die Siemens-Schuckertwerke und am 3. und 4. Oktober das Glaswerk Schott & Gen. in Jena.

Prof. Gehrcke vertrat die Reichsanstalt auf der Hauptversammlung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft in Gießen vom 6. bis 7. Mai 1910; nichtamtlich nahm Dr. Reichenheim ebenfalls an dieser Versammlung teil.

Geh. Reg.-Rat Wiebe beteiligte sich vom 16. bis 18. Mai in Dresden an der konstituierenden Sitzung der Deutschen Sektion der Internationalen Kommission zur Vereinheitlichung der Untersuchung von Petroleumprodukten. Im Anschluß hieran hatte er in Jena mit Dr. Schott am 19. Mai eine Besprechung über Kolorimeterglas zur Untersuchung der Färbung des Petroleums und über normale Zylinder für Petroleumlampen. Derselbe machte sodann vom 27. September bis 20. Dezember 1910 im Interesse der deutschen Thermometerindustrie eine Studienreise nach England und Amerika, um sich über die industriellen Einrichtungen, Betriebsverhältnisse und Leistungen zu unterrichten und die dortigen Prüfungsinstitute kennen zu lernen.

[1]) Auszug aus dem dem Kuratorium der Reichsanstalt im März 1911 erstatteten Tätigkeitsbericht.

Geh. Reg.-Rat Gumlich nahm vom 26. bis 28. Mai 1910 in Braunschweig teil an der Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

Geh. Reg.-Rat Leman besuchte am 7. August 1910 die Optische Anstalt der Firma Wilh. Weule in Goslar und beteiligte sich sodann vom 8. bis 10. August in Göttingen an den Verhandlungen des 21. Mechanikertages, an denen sich auch Geh. Reg.-Rat Lindeck und Techn. Rat Blaschke außeramtlich beteiligten.

Geh. Reg.-Rat Feußner besichtigte vom 5. bis 7. August 1910 das Elektrische Prüfamt in München und verhandelte am 8. August daselbst mit den Isaria-Zählerwerken über Einrichtung einer Zweigstelle für Zählerprüfung in der Fabrik. Alsdann fanden durch den Genannten Besichtigungen der folgenden Elektrischen Prüfämter statt: am 9. August in Nürnberg, am 11. August in Chemnitz, am 24. und 25. August in Bremen, am 26. August in Hamburg.

Prof. Göpel fungierte vom 31. Juli bis 10. August 1910 auf der Brüsseler Weltausstellung als Preisrichter für die Klasse Feinmechanik und Optik.

Nichtamtlich beteiligte sich Prof. Scheel an der Naturforscherversammlung in Königsberg i. Pr. vom 18. bis 24. September 1910.

Prof. Grützmacher besuchte am 19. September 1910 in Stützerbach i. Thür. die Hauptversammlung des Vereins Deutscher Glasinstrumenten-Fabrikanten und sodann die Reichsanstalt vom 22. bis 24. September.

Präsident Warburg besuchte am 19. Dezember 1910 das Glühlampenwerk der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, am 20. Dezember die Ludwig Loewesche Fabrik und am 5. Januar 1911 die Elektrotechnische Fabrik Hans Boas in Berlin.

Dr. Hoffmann nahm an den Öfen der Rheinischen Chamotte- und Dinaswerke in Bendorf a. Rh. vom 5. bis 11. Dezember 1910 Messungen an Seger-Kegeln vor. Hieran anschließend besuchte er am 12. Dezember die Mühlhofener Werke in Engers, am 13. Dezember die Quarzit- und Tonlager in Herschbach, am 14. Dezember das Bureau der Rheinischen Chamotte- und Dinaswerke in Cöln und am 15. Dezember die Firma Dr. R. Haase in Hannover, letztere zur Besprechung über Wanner-Pyrometer.

Internationale Kommission für elektrische Einheiten und Normale.

Die gemeinschaftliche experimentelle Arbeit in Washington, von welcher im Tätigkeitsbericht für das Jahr 1909 die Rede war, ist im April und Mai 1910 ins Werk gesetzt worden. Beteiligt waren die Staatslaboratorien von Amerika, Deutschland, England und Frankreich; Vertreter der Reichsanstalt war Geh. Reg.-Rat Jaeger. Als wichtigstes Ziel der Arbeit galt die Bestimmung der elektromotorischen Kraft des Weston-Normalelementes (Element mit Bodenkörper von festem $CdSO_4$, $8/3\,H_2O$) mit einer Genauigkeit von $^1/_{10000}$ des Wertes unter der Annahme des internationalen Ohm und des internationalen Ampere als Fundamentaleinheiten.

Auf Grund der neuen, in Washington vorgenommenen silbervoltametrischen Messungen fanden die Delegierten übereinstimmend die E.M.K. des Weston-Normalelementes bis auf $^1/_{10000}$ genau gleich 1,0183 intern. Volt. Infolge hiervon hat das internationale Komitee den Wunsch ausgesprochen, es möge vom 1. Januar 1911 ab bis auf weiteres in den Staatslaboratorien aller Länder den elektrischen Eichungen die Annahme zugrunde gelegt werden, daß die E.M.K. des Westonschen Normalelementes bei 20° 1,0183 Volt beträgt, und es mögen die Herren Mitglieder des Komitees in ihren Ländern auf die Erfüllung dieses Wunsches hinwirken.

Vom 1. Januar 1911 ab wird der genannte Wert den Messungen in der Reichsanstalt zugrunde gelegt, was in den größeren Fachzeitschriften bereits mitgeteilt ist. Bisher wurde in Deutschland als Wert für das Weston-Normalelement die Zahl 1,0186 Volt bei 20° C. benutzt. Die durch die Neufestsetzung bedingte Änderung der Spannungseinheit beträgt aber nicht, wie man glauben könnte, 0,0003 Volt, sondern etwas weniger. Dies rührt z. T. daher, daß das Merkurosulfat der neuen Elemente eine etwas geringere elektromotorische Kraft ergibt als dasjenige der bisherigen Spannungsnormale der Reichsanstalt. Für wissenschaftliche Messungen von hoher Genauigkeit empfiehlt es sich, die dabei benutzten Normalelemente durch eine Nachprüfung bei der Reichsanstalt auf die neue Spannungseinheit beziehen zu lassen.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die hinsichtlich der elektromotorischen Kraft des Weston-Normalelements erzielte internationale Einigung ohne die gemeinschaftliche Arbeit in Washington bei weitem nicht so schnell erreicht worden wäre. Das *Bureau of Standards* hat nicht nur hierfür die Initiative ergriffen, sondern auch die mühsame Arbeit der Vorbereitung zu leisten gehabt; das *American Institute of Electrical Engineers*, die *National Electric Light Association*, die *Association of Edison Illuminating Companies* und die *Illuminating Engineering Society* haben die notwendigen Geldmittel zur Verfügung gestellt. Auch an diesem Orte möge der genannten Behörde und den genannten Körperschaften der Dank für ihre Verdienste in der fraglichen Angelegenheit ausgesprochen werden.

Geschenk.

Der Ertrag einer im In- und Ausland veranstalteten Sammlung, welche zu einer Ehrung des früheren Präsidenten der Reichsanstalt, Friedrich Kohlrausch, bei Vollendung des 70. Lebensjahres veranstaltet war, ist, da Kohlrausch schon vorher starb, im Einverständnis mit den Spendern zur Herstellung einer Marmorbüste des zu Feiernden verwendet worden. Die Büste hat in der Bibliothek der Abteilung I Aufstellung gefunden.

Sitzungen der wissenschaftlichen Beamten.

Die wissenschaftlichen Beamten sind wie bisher monatlich zu Kolloquien zusammengekommen.

Neubauten.

In den Etat für 1911 sind 283400 M. als erste Rate für den Neubau des elektrischen Starkstromlaboratoriums und 111500 M. für die Errichtung eines von magnetischen Störungen freien Laboratoriums auf dem Telegraphenberge bei Potsdam bereitgestellt worden. Die Pläne für diese Bauten wurden auf Grund diesseitiger Angaben von dem Baubureau des Reichsamts des Innern entworfen und mit diesem in der Reichsanstalt eingehend durchberaten. An diesen Beratungen beteiligten sich von der Reichsanstalt die Hrn. Hagen, Jaeger, Holborn, Gumlich, Lindeck, Orlich, Schönrock, Grüneisen sowie der Unterzeichnete.

B. Abteilung I.

I. Mechanik und Wärmelehre[1]).

1. Elast. u. therm. Eigenschaften der Metalle[3]).

Die Untersuchungen über die elastischen und thermischen Eigenschaften der Metalle wurden vorläufig abgeschlossen. Die Ergebnisse sind veröffentlicht. (Anh. Nr. 5, 6, 7)[2]).

2. Ausdehnung bei versch. Zustand d. Materials[4]).

Versuche über die Ausdehnung des Platins bei verschiedenem Zustand des Materials, für welche ein hartgezogenes Rohr zur Verfügung steht, sind nach der Fizeauschen Methode in Angriff genommen.

3. Volumen von Quecksilbermenisken[5]).

Bei gasvolumenometrischen Messungen ist das Volumen der begrenzenden Quecksilbermenisken vielfach von einer Größenordnung, die merklich in die Rechnungen eingeht. Es wurde das Volumen solcher Menisken in mehreren Fällen experimentell ermittelt und gefunden, daß es innerhalb der Beobachtungsfehler durch Rohrweite und Meniskushöhe eindeutig bestimmt ist. Die Ergebnisse der Messungen lassen sich durch eine von Hrn. Th. Lohnstein (*Ann. d. Physik* **33**. *S. 296. 1910*) auf theoretischem Wege abgeleitete Formel nahezu darstellen. Die Untersuchung ist veröffentlicht. (Anh. Nr. 8.)

4. Vergleichung der Platinthermometer mit verschiedenen Gasthermometern und Neubestimmung des Siedepunkts vom Schwefel[6]).

Die Vergleichung der Platinthermometer mit dem Gasthermometer oberhalb 0° bis zum Schmelzpunkt des Schwefels ist in dem Berichtsjahr wieder aufgenommen. Zum Anschluß an die bisher vorliegenden Messungen war zunächst mit dem Stickstoffthermometer zu beobachten. Das Gefäß des Gasthermometers bestand aus Jenaer Glas 59^{III} oder Quarzglas, weil für die genaue Bestimmung des schädlichen Raumes eine Methode ausgearbeitet war (vgl. Ber. für 1907), die nur auf durchsichtige Kapillaren anwendbar ist. Die Ver-

[1]) Im folgenden sind die Namen der Beamten, welche die Arbeiten ausgeführt haben, in Anmerkungen zu den einzelnen Nummern des Textes genannt.

[2]) Die Hinweise beziehen sich auf das Verzeichnis der Veröffentlichungen am Schluß des Berichts.

[3]) Grüneisen.

[4]) Scheel, Heuse.

[5]) Scheel, Heuse.

[6]) Holborn, Henning.

gleichungen wurden in elektrisch geheizten Bädern ausgeführt, und zwar bei 200° in einem Ölbade, bei 330° und 450° in einem Salpeterbade. Um von der Ungleichmäßigkeit der Temperatur längs des 25 *cm* langen Gasthermometergefäßes unabhängig zu sein, wurde der Platinwiderstand von derselben Länge gewählt. Denn wenn auch in dem Ölbade, dem der Heizstrom von innen zugeführt werden konnte, eine Gleichmäßigkeit von wenigen Hundertel Grad erreicht wurde, so blieben doch in dem Salpeterbade, das von außen geheizt wurde, Unterschiede von etwa 0,1° in verschiedener Höhe trotz kräftigen Rührens übrig. Die zeitliche Konstanz der Temperatur ließ nichts zu wünschen übrig.

Die Verwendung des Quarzglasgefäßes, das erst später in wünschenswerter Beschaffenheit hergestellt werden konnte, war wegen seiner geringen Ausdehnung wertvoll. Denn bei dem Gefäß aus Jenaer Glas beträgt der Einfluß der Ausdehnung etwa 6° in der Nähe von 450°. Außerdem ergab sich später noch ein anderer Vorteil. In dem Gefäß aus Jenaer Glas erlitt die Gasfüllung merkliche Veränderungen infolge des Heizens, die sich in Unterschieden der Nullpunkte und der Spannungskoeffizienten offenbarten. Sie scheinen durch Gasabgabe der Wandung verursacht zu werden und konnten auch durch die größte Sorgfalt bei der Füllung (Auspumpen des Gefäßes in hoher Temperatur, Verwendung reinen Gases u. dgl.) nicht ganz vermieden werden. Bei Quarzglas zeigt sich diese Erscheinung nicht. Die Stickstoff-Füllung blieb absolut konstant nach vielfacher Heizung. Der Anfangsdruck der Gasfüllung, der durch die Länge des Manometers bedingt war, betrug stets etwa 63 *cm*.

Die Ergebnisse der Temperaturmessung stimmen mit beiden Gefäßen auf 0,1° bei 450° überein, wenn für die Ausdehnung von Glas 59^{III}[1]) und Quarzglas[2]) die früher erhaltenen Resultate zugrunde gelegt werden. Versuche, die lineare Ausdehnung beider Materialien zu vergleichen, wobei ein Stück Jenaer Glas benutzt werden soll, das von demselben Rohr wie das benutzte Gefäß abgeschnitten wurde, sind in Vorbereitung.

Die Berechnung des umfangreichen Beobachtungsmaterials ist noch nicht abgeschlossen.

Es sind noch Messungen mit andern Gasen angestellt worden, und zwar wurde das Gefäß aus Jenaer Glas noch mit Wasserstoff und Helium, das aus Quarzglas bei einer angefangenen Beobachtungsreihe mit Argon gefüllt. Diese kann bei Fortsetzung auf andere Drucke und tiefere Temperaturen einen Beitrag zu der Arbeit über die Zustandsgleichung liefern. Wasserstoff und Helium ergaben gegenüber Stickstoff keine Unterschiede, die die Grenze der Versuchsfehler (etwa 0,1° bei 450°) wesentlich überschritten. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Beobachtungen mit Helium überhaupt ungenauer ausfielen wegen des Gasverlustes in hoher Temperatur (0,4 *mm* im Druck nach jeder Heizung auf 450°).

Änderungen der Platinthermometer können trotz sorgfältiger Alterung nach Heizungen auf 450° noch in geringem Betrage auftreten. Sie äußern sich aber nur in einer Zunahme des Anfangswiderstandes w_0 (etwa 0,00001 des Betrages); der Temperaturkoeffizient $\frac{w_{100} - w_0}{w_0}$ bleibt ungeändert, ebenso die Abweichung der Platintemperatur von der gasthermometrischen Skale. Als Kontrollwiderstände wurden neben der Manganinbüchse mit gutem Erfolg Platinthermometer benutzt, die sich bei der Messung im schmelzenden Eis befanden und die nach vorhergehender Alterung niemals über Zimmertemperatur erwärmt wurden.

5. Sättigungsdruck des Wasserdampfes zwischen 50° und 100°[3]).

Mit einer gegen früher abgeänderten Versuchsanordnung, bei der das Wasser ebenso wie bei dem oberhalb 100° benutzten Apparat elektrisch geheizt wurde, sind die Beobachtungen über den Sättigungsdruck zwischen 50° und 100° wiederholt worden. Wurde hierbei ein stoßfreies Sieden eingeleitet, so ergaben sich etwas tiefere Werte für den Siedepunkt, und zwar betrug der Unterschied gegen früher im Maximum bei 50° etwa 0,05°, sodaß die Abweichung gegenüber den Messungen von Scheel und Heuse zum größten Teil wegfällt. Die Ergebnisse, die unabhängig davon waren, ob der Dampfdruck neben dem Thermometer

[1]) Holborn und Grüneisen, *Ann. d. Physik* **6.** *S. 136. 1901.*
[2]) Holborn und Henning, *ebenda* **10.** *S. 446. 1903.*
[3]) Holborn, Henning.

oder hinter dem Rückflußkühler gemessen wurde, sollen nach der definitiven Aufstellung der Beziehung zwischen Gasskale und Platinthermometer berechnet werden.

6. Zustandsgleichung von Argon[1]).

Die Versuche sollen bis zu Drucken von 200 Atm. und für Temperaturen von -80^0 bis etwa 400^0 ausgeführt werden. Die Anordnung, die in ihren Hauptteilen fertiggestellt ist, geht aus der schematischen Fig. 1 hervor. *1, 2, 3 ... 7* sind Hochdruckventile aus Stahl, sämtliche Verbindungen Stahlkapillaren. Das Meßvolumen von etwa 100 *ccm* liegt zwischen den Ventilen *6* und *7*. Es besteht bis auf die Stahlkapillare *K*, die

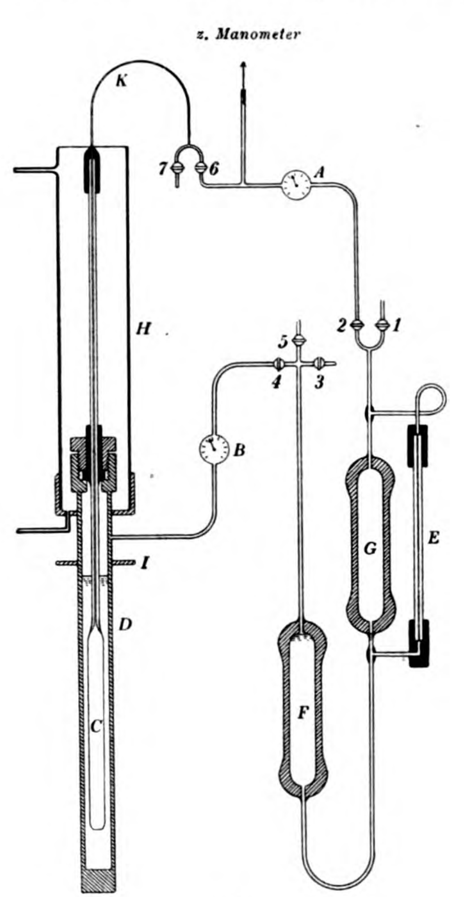


Fig. 1.

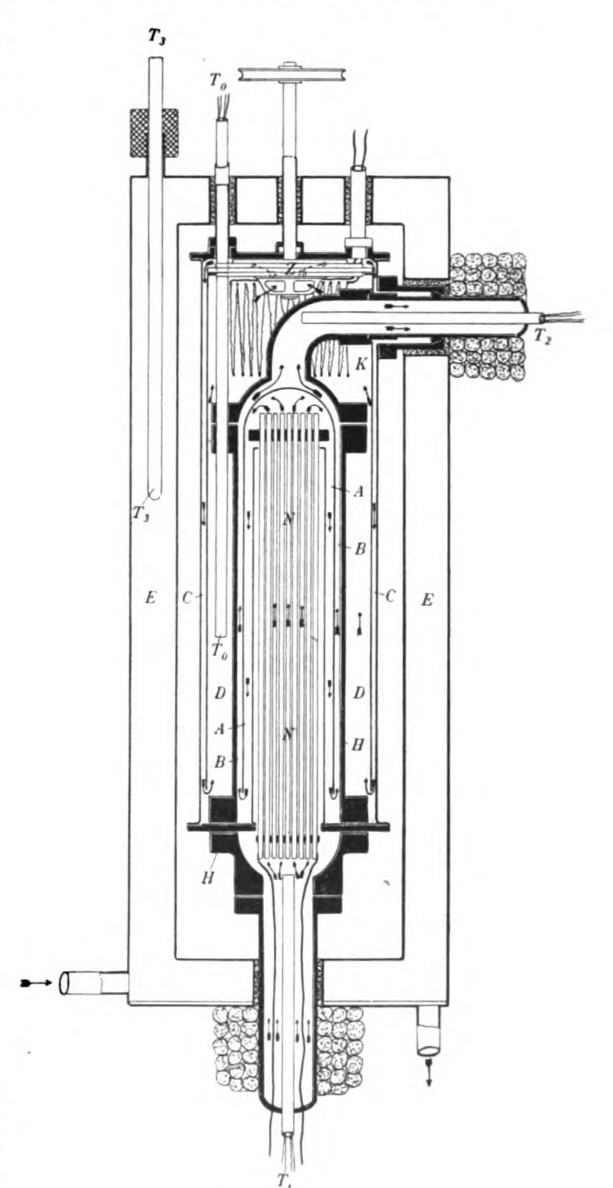


Fig. 2 ($^3/_{20}$ nat. Gr.).

die Verbindung mit den Ventilen *6* und *7* herstellt, aus Jenaer Glas 59^{III}. Der weite Teil *C* des Glasgefäßes liegt innerhalb eines Druckzylinders *D* aus Stahl, dessen Innendruck (Zeigermanometer *B*) stets gleich demjenigen im Glasgefäß *C* (Zeigermanometer *A*) gehalten wird. Das Stahlrohr *D*, zum Teil mit Quecksilber gefüllt, taucht bis zum Ansatz *I* in ein Temperaturbad, das in der Figur nicht gezeichnet ist. Oberhalb des Ansatzes ist ein Wassermantel *H* zur Kühlung der nicht geheizten Kapillare angebracht. Zum Hineinpressen des Argons in das Meßvolumen dient eine Quecksilberdruck-

[1]) Holborn, Hugo Schultze.

pumpe, die bis auf das Steigrohr *E*, das von einer Kapillare aus Glas 59^{III} gebildet wird, aus Stahl besteht. Jeder der beiden Druckzylinder *F* und *G* besitzt 1 Liter Inhalt.

Das Meßvolumen wird in der Weise gefüllt, daß das Argon durch Ventil *1* in den Zylinder *G* eingeleitet wird. Nachdem Ventil *1* geschlossen ist, werden die Ventile *2*, *4* und *6* geöffnet. Durch das Ventil *3* eintretende Druckluft drängt alsdann das Quecksilber aus dem Zylinder *F* in den Zylinder *G* und damit das Argon in das Meßvolumen und tritt gleichzeitig in *D* ein. Die Ventile *2*, *3* und *4* werden dann geschlossen und Ventil *5* nach der Atmosphäre geöffnet, sodaß sich der Zylinder *G* durch das Ventil *1* wieder mit Argon füllen und das Spiel von neuem beginnen kann, bis genügend hoher Druck im Meßgefäß herrscht. Der Druck im Meßvolumen soll, von 0° ausgehend, bei bestimmten Temperaturen mittels des großen Quecksilbermanometers (bis 16 Atm.) oder der Druckwage (bis 200 Atm.) gemessen werden. Darauf wird Ventil *6* geschlossen und das Argon durch Ventil 7 in Glaskolben von bekanntem Inhalt, die sich in einem Wasserbade befinden, auf 1 Atm. entspannt, um das Normalvolumen der Gasmenge zu bestimmen.

Für die Versuche sind etwa 30 Liter Argon erforderlich. Das Rohargon wurde nach der Methode von Fischer und Ringe[1]) durch Absorption des Sauerstoffs und Stickstoffs der Luft durch das Polzeniussche Gemisch (Kalziumkarbid + 10% Chlorkalzium) gewonnen. Darauf wurden die letzten Reste von Stickstoff mit der Maquenneschen Mischung[2]) entfernt und das Neon und Helium nach der Methode von Valentiner und Schmidt[3]) über Holzkohle in flüssiger Luft abgepumpt. Die Darstellung der erforderlichen Menge Argon ist nahezu beendigt.

7. Spezifische Wärme von Gasen bei hohen Drucken[4]).

Die Anordnung für die Untersuchung der spezifischen Wärme von Gasen bei hohen Drucken ist fertig aufgestellt bis auf den Kompressor (für Drucke bis 400 Atm.), dessen Beschaffung aufgeschoben wurde wegen der Unsicherheit des Zeitpunktes, an dem der Abbruch des jetzt benutzten Beobachtungsraumes einen Umzug nötig machen wird.

Die Fig. 2 zeigt den Hauptteil der Versuchsanordnung, das Kalorimeter. Das Gas tritt unten in der Mitte aus der Hochdruckleitung in das aus Nickelstahl hergestellte Heizgefäß *H* ein, wird beim Durchströmen des aus Nickelröhren bestehenden Heizwiderstandes *N* erwärmt und strömt oben seitlich aus, nachdem es vorher die durch eine dünne Mittelwand getrennten ringförmigen Räume *A* und *B* durchflossen hat. An der Ein- und Austrittsstelle wird die Gastemperatur durch die Platinthermometer T_1 und T_2 gemessen, welche in dünnwandigen Rohren verschiebbar angeordnet sind. Das ganze Heizgefäß mit den Rohrleitungsanschlüssen ist von einem mit Öl gefüllten Behälter umgeben, der durch eine dünne zylindrische Längswand ebenfalls in zwei ringförmige Räume, *C* und *D*, geteilt ist; eine kleine Zentrifuge *Z* pumpt die Flüssigkeit von dem einen Raum in den anderen. Auf diese Weise wird im ganzen Ölbehälter eine sehr gleichmäßige Temperatur erzielt, die mit dem vertikal verschiebbaren Platinthermometer T_0 gemessen wird. *K* bedeutet einen Bandwiderstand aus Konstantan zur direkten Heizung des Öles, die notwendig ist, wenn das mit bestimmter Außentemperatur eintretende Gas das Kalorimeter mit der Öltemperatur verlassen soll. Der ganze Apparat ist von einem zweiteiligen Mantel aus zusammengeschweißtem Eisenblech *E* umgeben, der durch den Wasserdampf aus der Dampfheizung des Beobachtungsraumes auf 100° gehalten wird. Die Temperatur des Dampfmantels wird mit einem Quecksilberthermometer T_3 gemessen. Die den Heizwiderständen *N* und *K* zugeführte elektrische Energie wird aus Spannung und Strom mittels am Kompensator geeichter Zeigerinstrumente bestimmt, die stündlich den Apparat durchströmende Gasmenge mit einem Kubizierapparat von 2 *cbm* Fassungsvermögen.

Zunächst wird die spezifische Wärme von Luft bei dem Druck von 1 und 10 Atm. gemessen, um alle Verhältnisse des Kalorimeters auszuprobieren, ehe zu den hohen Drucken

[1]) Fischer und Ringe, *Ber. d. Deutsch. chem. Gesellsch.* **41.** *S. 2017. 1908.*

[2]) Hempel, Gasanalytische Methoden 1900. *S. 150.*

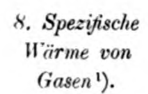
[3]) Valentiner und Schmidt, *Ann. d. Physik* **18.** *S. 187. 1905.*

[4]) Holborn, Baumann, Jakob.

und zu anderen Gasen übergegangen wird. Bei diesen Versuchen wird einstweilen T_1 gleich der Zimmertemperatur und $T_2 = T_0 = T_3 = 100^0$ gehalten.

Die Luft wird durch den früher zur Eisgewinnung benutzten Kompressor angesaugt, mit dem man noch bis etwa 10 Atm. Druck gelangen kann. Dieser Kompressor wurde zunächst mittels Vorgeleges von der vorhandenen Dampfmaschine angetrieben. Der Regulator der Dampfmaschine wurde dabei für die Tourenregulierung bis unter halbe Normalgeschwindigkeit eingerichtet, und es ließ sich bei sorgfältiger Einhaltung konstanten Kesseldruckes eine hinreichend konstante Luftströmung und damit ein stationärer Zustand des Kalorimeters während längerer Zeit erzeugen. Störend blieben dabei allerdings die durch den Unempfindlichkeitsgrad des Regulators bedingten Geschwindigkeitsvariationen, die sich als Stöße von kürzerer Dauer in Schwankungen der Temperatur T_2 der Luft bemerkbar machten. Um auch diese zu beseitigen, wurde die Ladedynamo, die an demselben Vorgelege wie die Dampfmaschine liegt, unter Speisung mit Akkumulatorenstrom als Motor für den Antrieb des Kompressors mit Erfolg benutzt.

Da die Kalorimeterverluste aus Messungen mit verschiedenen stündlichen Gasmengen bei gleichen Temperaturen eliminiert werden sollen, wird zurzeit untersucht, inwieweit die Kalorimeterverluste von der Menge der durchströmenden Luft unabhängig sind. Diese Versuche werden mit Luftmengen von etwa 10 bis 30 *kg*/Stde. ausgeführt. Die Verluste betragen etwa 10 % des kleinsten Wertes der dem Kalorimeter zugeführten elektrischen Energie.



8. Spezifische Wärme von Gasen[1].

Einer Anregung des Kuratoriums entsprechend wurde die Bestimmung der spezifischen Wärme von Gasen bei tiefen Temperaturen in Angriff genommen. Da die Kenntnis der wahren spezifischen Wärme bei tiefen Temperaturen erwünscht ist, so konnte für die Messungen nur die Methode der kontinuierlichen Strömung in Frage kommen, welche zuerst von Callendar und Barnes zur Bestimmung der wahren spezifischen Wärme des Wassers bei Temperaturen zwischen 0° und 100° benutzt wurde. Neuerdings hat dann Swann versucht, die spezifische Wärme der Luft bei 20° und 100° nach dieser Methode zu bestimmen.

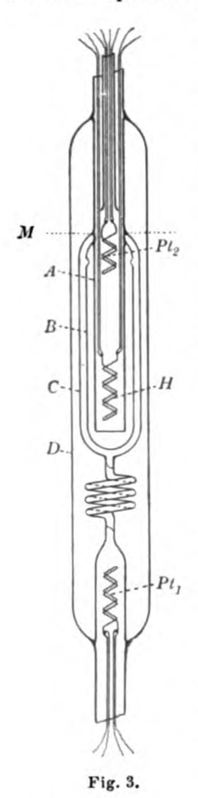


Fig. 3.

Nach der Methode der kontinuierlichen Strömung wird einem Gase, welches in konstantem Strome ein Rohr durchfließt, im Innern dieses Rohres eine gemessene Wärmemenge $i^2 w$ elektrisch zugeführt. Kennt man nach Eintritt des stationären Zustandes die Temperaturdifferenz Δt zwischen dem ein- und dem austretenden Gase sowie die Gasmenge Q, welche pro Zeiteinheit das Kalorimeter durchfließt, so ist unter der Voraussetzung, daß keine Wärmeverluste stattfinden, $\frac{1}{\mathfrak{A}} \cdot \frac{i^2 w}{Q \cdot \Delta t}$ die spezifische Wärme des Gases; $\mathfrak{A}$ bedeutet das mechanische Wärmeäquivalent.

Die zu den Versuchen benutzten, aus Glas gefertigten Kalorimeter hatten die nebenstehend abgebildete Form (Fig. 3). Das auf die konstante Versuchstemperatur gebrachte Gas tritt von unten her in das Kalorimeter ein, passiert eine aus glastechnischen Gründen vorhandene Spirale und gelangt nach Durchströmen zweier Glasmäntel C und B in das innere Rohr A, welches den Heizdraht H enthält. Zur Messung der Temperaturen des ein- und austretenden Gases dienen Platinwiderstandsthermometer Pt_1 und Pt_2, welche in der üblichen Form auf Glimmerkreuze gewickelt sind. Die Thermometer wurden für jede Messung im Gasstrome ohne Heizung verglichen; die bei Heizung an Pt_2 gemessene Widerstandserhöhung wurde in tiefer Temperatur nach einer quadratischen Interpolationsformel, bei Zimmertemperatur nach der Callendarschen Formel auf Temperaturerhöhung umgerechnet. Das verschiebbare Thermometer Pt_2 hat eine Länge von nur 5 *mm* und erlaubt, das Tem-

[1]) Scheel, Heuse.

peraturgefälle im Austrittsrohr zu messen. Das Ganze ist von einem evakuierten Glasmantel D umgeben und befindet sich in einem Bade konstanter Temperatur.

Für die Einfügung der Mäntel B und C in die Apparatur war folgende Überlegung maßgebend: Durch den Vakuummantel werden Wärmeverluste aus dem inneren Rohr zwar sehr stark herabgemindert, aber doch nicht vollständig vermieden; sie betragen nach den Versuchen 3 ‰ pro 1 *cm* Rohrlänge. Alle Wärmeverluste bewirken aber eine Verkleinerung von Δt und liefern demzufolge für den Ausdruck

$$\frac{1}{\mathfrak{A}} \cdot \frac{i^2 w}{Q \cdot \Delta t}$$

Werte, welche größer sind als die gesuchte spezifische Wärme. Wäre es möglich, mit dem Thermometer Pt_2 bis unmittelbar an den Heizdraht heranzugehen, so würden die Wärmeverluste nur einen geringen Einfluß auf das Resultat haben; in Wirklichkeit muß aber zwischen dem Heizdraht und Pt_2 ein passender Zwischenraum gelassen werden, damit eine genügende Durchmischung des Gases erfolgt, und Pt_2 auch sicher die mittlere Temperatur des austretenden Gasstromes angibt. Die Mäntel B und C dienen nun zur Unterstützung der Wirkung des Vakuummantels, indem mit ihrer Hilfe bis zur Ansatzstelle des Mantels C an das Innenrohr in M die abgegebene Wärme nach dem Gegenstromprinzip dem Innenraum wieder zugeführt wird. Eine im Querschnitt M vorzunehmende Temperaturmessung würde also einen Wert für den obigen Ausdruck ergeben, der, innerhalb der Fehlergrenzen, gleich der gesuchten spezifischen Wärme des Gases ist.

Bisher wurden Versuche mit trockener kohlensäurefreier atmosphärischer Luft unter Atmosphärendruck bei Zimmertemperatur und bei der Temperatur des flüssigen Sauerstoffs angestellt, wobei die Geschwindigkeit des Luftstromes (im Mittel etwa 5 *l* in der Minute) innerhalb weiter Grenzen variiert wurde. Der Luftstrom wurde mit der Wasserluftpumpe angesaugt und durch einen besonders für den vorliegenden Zweck konstruierten Regulator konstant gehalten. Die Menge der durchgesaugten Luft wurde in der Weise bestimmt, daß unter Betätigung automatischer Umschalter an Stelle der aus der freien Atmosphäre eintretenden Luft Luft aus einem Gefäße bekannten Volumens unter gleichen Bedingungen durch das Kalorimeter getrieben wurde. Die hierzu nötige Zeit wurde mittels eines Chronographen gemessen.

Als Resultat der bisher angestellten Versuche ergab sich unabhängig von der Größe von Q für die trockene kohlensäurefreie atmosphärische Luft bei 15°, bezogen auf den Querschnitt M, $\frac{i^2 w}{Q \cdot \Delta t} = 1{,}00$ intern. Watt-Sekunden. Bei $-183°$ ergaben die Versuche $\frac{i^2 w}{Q \cdot \Delta t} = 1{,}05$ intern. Watt-Sekunden. Die wahre spezifische Wärme der Luft ist somit bei $-183°$ um etwa 5% größer als bei $+15°$. Die Luft zeigt also in der Nähe ihres Kondensationspunktes ein ähnliches Verhalten, wie es Knoblauch und Jakob, später Knoblauch und Mollier bei Wasserdampf beobachtet haben. Das geschilderte Verhalten der Luft findet sich auch schon bei Versuchen von Witkowski über die mittlere spezifische Wärme zwischen $-183°$ bezw. $-102°$ und Zimmertemperatur angedeutet.

9. Versuche über das Setzen von Mauerwerk[1].

Die Pfeiler zeigten im Jahre 1910, dem sechsten (bei zwei Pfeilern dem fünften) Jahre nach ihrem Aufbau, eine weitere Verlängerung, deren Betrag nur wenig geringer als in den Vorjahren ist. Für den mit Zement gemauerten Pfeiler war die Verlängerung im Jahre 1910 etwa 0,03 *mm*, alle übrigen Pfeiler waren unabhängig von der benutzten Mörtelsorte um nahezu gleichviel, um etwa 0,015 *mm*, gewachsen.

Der Einwand, daß die beobachteten Größen nicht auf einer Längenzunahme der Pfeiler, sondern auf einem Schwinden der als Vergleichskörper benutzten Gußeisensäulen beruhen, ist durch gleichzeitige Messungen an drei Stäben aus Atlasstahl widerlegt. Die Gußeisensäulen zeigten gegen die drei Stäbe aus Atlasstahl innerhalb der bei den Beobachtungen erreichbaren Genauigkeit (etwa ± 0,003 *mm*) keine Längenänderungen.

[1]) Scheel.

II. Elektrizität.
1. Allgemeines.

Die elektrische Gruppe war wie im Vorjahr durch die für die internationalen Messungen nötigen Vorbereitungen und die im Anschluß an diese Messungen vorzunehmenden Untersuchungen stark in Anspruch genommen.

2. Internat. Messungen in Washington[1])

Bei der gemeinschaftlichen Arbeit in Washington (s. *S. 113*) handelte es sich in erster Linie darum, den Wert der E.M.K. des Westonschen Elements auf $^1/_{10000}$ zu bestimmen. Während in der Übereinstimmung der Normalelemente und Normalwiderstände eine befriedigende Genauigkeit bereits erreicht war, gingen die mit dem Silbervoltameter erhaltenen Resultate der verschiedenen Staatslaboratorien weiter auseinander. Bei der in Washington ausgeführten Arbeit wurden daher in einen Stromkreis Silbervoltameter verschiedener Konstruktion eingeschaltet, desgleichen Normalwiderstände (W). Die Stromstärke (J) wurde aus den Angaben der verschiedenen Voltameter berechnet, die Spannung ($J \cdot W$) an den Enden des Normalwiderstandes mit der E.M.K. des Weston-Elementes nach der Kompensationsmethode verglichen. Hierbei wurde als Einheit des Widerstandes das Mittel der Einheiten von England und Deutschland angenommen, weil bis jetzt nur diese Länder einen definitiven Anschluß von Drahtnormalen an Normal-Quecksilberwiderstände bewerkstelligt haben. Als E.M.K. des Weston-Elementes galt das Mittel der von den vier verschiedenen Ländern als richtig angenommenen Gruppenmittel.

Auf diese Weise wurden ca. 80 Werte für die gesuchte E.M.K. gewonnen. Bei der Diskussion der Versuchsergebnisse herrschte Einigkeit darüber, daß die Angaben derjenigen Voltameter, bei welchen die Anode mit Filtrierpapier umhüllt war, zu verwerfen seien. In der Tat ergaben diese Voltameter in Übereinstimmung mit früheren Ermittelungen des *Bureau of Standards* zu große Werte für den Silberniederschlag. Der wahrscheinliche, aus der Gesamtheit der Versuche folgende Wert für die E.M.K. des Westonschen Normalelementes hängt von der Gruppierung und Bewertung der verschiedenen Versuche ab. In dieser Beziehung sind Meinungsverschiedenheiten zwischen den Herren Delegierten zutage getreten; glücklicherweise aber beeinflussen diese Meinungsverschiedenheiten nicht den auf $^1/_{10000}$ abgerundeten Wert, welcher von den verschiedenen Herren übereinstimmend gleich 1,0183 int. Volt bei 20° gefunden ist.

Es entstand in Washington die weitere Aufgabe, auf Grund der Versuche die von der Londoner Konferenz für das Silbervoltameter gegebenen Spezifikationen zu vervollständigen. Man kam aber überein, daß hierfür noch einige weitere Versuche erforderlich seien, welche man in den verschiedenen Staatslaboratorien anstellen wird, und es ist zu erwarten, daß in nicht zu langer Zeit dem Komitee auch in dieser Beziehung Vorschläge gemacht werden können.

3. Widerstandsmessungen[2]).

Die 4 Manganinwiderstände der Abt. I, welche als sekundäre Einheit geführt werden und sich seit langer Zeit (Beobachtungszeit etwa 18 Jahre) in ihrem Mittelwert als unveränderlich innerhalb der Beobachtungsfehler erwiesen haben, wurden im Berichtsjahr öfter miteinander und mit anderen Widerständen verglichen. Die Veranlassung hierzu waren einerseits die durch die internationalen Arbeiten in Washington nötig gewordenen Vergleichungen, andererseits der Anschluß der sekundären Widerstandseinheit an die Ohmrohre, endlich die Vergleichung derselben mit anderen, in Luft von konstanter Feuchtigkeit aufbewahrten Widerständen.

Wie bereits im vorigen Tätigkeitsbericht erwähnt, werden seit Juli 1909 drei Manganinwiderstände von 1 Ohm in einem Raume von konstanter Feuchtigkeit (50 %) aufgehoben und nur zum Zweck der Messung daraus entfernt. In Zukunft soll die Einrichtung so getroffen werden, daß die betreffenden Widerstände auch bei der Messung selbst in dem Raume für konstante Feuchtigkeit verbleiben. Bekanntlich hat die Feuchtigkeit einen gewissen Einfluß auf den Widerstandswert von Drahtwiderständen; allerdings ist der Einfluß bei Widerständen von 1 Ohm meist sehr gering (unterhalb 1 Hunderttausendstel). Wenn auch eine zeitliche

[1]) Jaeger.
[2]) Feustel.

Änderung der Widerstandswerte nicht durch diesen Faktor allein bedingt wird, sodaß die Beseitigung desselben allein die Unveränderlichkeit der Widerstände nicht gewährleistet, so ist es doch selbstverständlich wünschenswert, wenigstens diesen einen störenden Faktor nach Möglichkeit auszuschalten.

Die Differenz zwischen dem Mittelwerte der drei in konstanter Feuchtigkeit aufbewahrten Widerstände und demjenigen der sekundären Einheit schwanken um etwa $\pm$ 5 Milliontel, sodaß ein Einfluß der Feuchtigkeit auf den Wert der sekundären Einheit noch nicht mit Sicherheit festgestellt werden kann, besonders da auch die dem Feuchtigkeitseinfluß entzogenen drei Widerstände eine relative Änderung ihrer Werte bis zu etwa demselben Betrage zeigen. Auch bei zwei Widerständen, die nach dem vom *Bureau of Standards* empfohlenen Verfahren völlig hermetisch verschlossen waren, und die, wie die oben erwähnten Büchsen, Potentialzuleitungen besaßen, zeigte sich trotz des Ausschlusses der Feuchtigkeit eine relative Änderung der Differenz ihrer Widerstandswerte um etwa denselben Betrag. Es sind also noch andere Faktoren vorhanden, durch welche kleine Widerstandsänderungen, die aber praktisch meist keine Rolle spielen, bewirkt werden.

Im Januar 1911 wurde die sekundäre Widerstandseinheit wieder mit den seit März 1905 gefüllt aufbewahrten Ohmnormalen XI und XIV verglichen (siehe den vorigen Tätigkeitsbericht, *diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 113. 1910*).

Die Differenz zwischen Draht- und Quecksilbereinheiten ist nach dieser Messung seit März 1905 bis auf wenige Milliontel die gleiche geblieben. Daraus geht mit ziemlicher Sicherheit hervor, daß sich weder die sekundäre Einheit noch die gefüllt aufbewahrten Ohmrohre um eine meßbare Größe geändert haben.

Um noch eine weitere Sicherheit für die Unveränderlichkeit der Widerstandseinheit zu gewinnen, wurden noch zwei im Vakuum gefüllte Quecksilberkopien von nahe 1 Ohm hergestellt, bei denen sich das Quecksilber in Quarz befindet (vgl. den vorigen Tätigkeitsbericht, *diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 113. 1910*). Nach den Erfahrungen, die mit ähnlichen Quecksilberwiderständen gemacht waren, die als Widerstandsthermometer benutzt wurden, läßt sich erwarten, daß die Kopien eine gute Konstanz zeigen. Über das Ergebnis kann erst nach einem längeren Zeitraum geurteilt werden; zunächst hat erst eine einmalige Vergleichung am Ende des Berichtsjahres stattgefunden.

Die Widerstandsvergleichungen von Drahtkopien in Washington haben gezeigt, daß die Widerstandseinheit von England und Deutschland in sehr naher Übereinstimmung sich befindet (vgl. *S. 120*).

Die Herstellung neuer Ohmrohre aus Glas 59^{III} ist in Angriff genommen worden.

4. Normalelemente[1]).

Nach Abschluß der Untersuchungen über das Merkurosulfat wurden, wie bereits berichtet, im Dezember 1909 ca. 70 Westonsche Elemente aus verschiedenartigen Präparaten hergestellt und zusammen mit einer Anzahl älterer Elemente sowie Elementen des *National Physical Laboratory* und des *Bureau of Standards* unter Petroleum in einem gut die Wärme isolierenden Kasten aufgehoben, der sich außerdem in einem Raum für konstante Temperatur des Observatoriums befindet, sodaß die Elemente nur sehr geringen und langsamen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind.

Wie die öfters vorgenommenen Vergleichungen der Elemente zeigten, ist die anfangs vorhandene gute Übereinstimmung derselben (vgl. vorigen Tätigkeitsbericht) unverändert geblieben.

Im März 1910 wurden 15 dieser Elemente nach Washington mitgenommen und während der dort ausgeführten internationalen Messungen mit denjenigen der anderen Staatslaboratorien verglichen (s. *S. 120*).

Der Mittelwert dieser Elemente befand sich in völliger Übereinstimmung mit dem Gruppenmittel der von den 4 Staatslaboratorien als Einheit der E.M.K. angesehenen Elemente. Vier dieser Elemente wurden in Washington zurückgelassen; die übrigen zeigten bei der

---

[1]) v. Steinwehr.

Vergleichung nach ihrer Rückkehr keine Änderung der E.M.K. gegen den Stamm der Elemente.

Im Dezember 1910 wurden 10 der Elemente an Abt. II als Grundlage für die Prüfungen abgegeben.

Im Januar 1911 wurden 12 von Herrn Prof. Haga (Groningen) der Reichsanstalt überbrachte Elemente, die in gleicher Weise wie diejenigen der Reichsanstalt hergestellt waren, und die zu einer absoluten Bestimmung der E.M.K. des Westonschen Elements gedient hatten (*K. Ak. van Wetensch. Amsterdam, Dez. 1910*), mit den Elementen der Reichsanstalt verglichen. Die Übereinstimmung war gleichfalls eine sehr gute (Differenz 1 Hunderttausendstel).

Für das Mittel der Elemente vom Dezember 1909 wurde der durch die internationale Kommission empfohlene Wert 1,0183 int. Volt bei 20° C vom 1. 1. 1911 an angenommen, der auch nachträglich durch silbervoltametrische Messungen in der Reichsanstalt bestätigt wurde.

5. Silbervoltameter[1]).

Vor den in Washington ausgeführten Messungen wurde zufolge der vom *Bureau of Standards* mitgeteilten Erfahrungen neben dem Einfluß der Seide auf den Silberniederschlag (vgl. vorigen Tätigkeitsbericht) auch derjenige von Filtrierpapier untersucht. Während sich bei Seide kein merklicher Einfluß zeigte, ergab sich bei Umhüllung der Anode mit Filtrierpapier, auch wennn dies gut ausgewaschen war, ein im Durchschnitt um ca. 1×10^{-4} größerer Niederschlag. Die Anwendung von Filtrierpapier muß daher in Übereinstimmung mit den Erfahrungen im *Bureau of Standards* und den in Washington bei den gemeinsamen Arbeiten gewonnenen Resultaten bei genauen silbervoltametrischen Messungen vermieden werden.

Um den absoluten Wert der neuen Elemente in internationalen elektrischen Einheiten festzustellen, wurden unabhängig von den gleichzeitig in Washington angestellten Untersuchungen silbervöltametrische Messungen ausgeführt. Die Versuchsanordnung glich im wesentlichen derjenigen bei der in *dieser Zeitschr.* **28.** *S. 327, 353. 1908* veröffentlichten Arbeit; doch wurde wieder die Kohlrauschsche Anordnung des Silbervoltameters mit einem unter der Anode angebrachten Glasschälchen ohne Anwendung einer Umhüllung der Anode benutzt.

Bei den früheren Messungen war der Umstand sehr störend gewesen, daß sich die Normalelemente in einem Raum befanden, dessen Temperatur starken Schwankungen unterworfen war.

Bei den jetzt vorgenommenen Messungen wurden nicht nur die Wägungen in einem Raum für konstante Temperatur vorgenommen, sondern es befanden sich auch die Normalelemente und -Widerstände u. s. w. in diesem Raum. Die niedergeschlagene Silbermenge war aber doppelt so groß als früher (4 *g* Silber bei Anwendung eines Stromes von ½ Amp., der 2 Stunden geschlossen blieb). Bei den Versuchen in Washington wurde zufällig dieselbe Silbermenge niedergeschlagen. Die Spannung der Normalelemente wurde mit derjenigen an zwei hintereinandergeschalteten 1 Ohm-Büchsen verglichen, die an die Widerstandseinheit angeschlossen waren. Im ganzen wurden 16 Versuche mit je 4 hinter einander geschalteten Tiegeln angestellt, von denen jeder Beobachter zwei behandelte.

In Übereinstimmung mit den vom *Bureau of Standards* mitgeteilten Beobachtungen ergab sich, daß eine geringe Verunreinigung organischer Natur die Menge des Silberniederschlags erhöht. Deshalb war es nötig, entweder umkristallisiertes Silbernitrat zu benutzen, oder die aus dem Handel bezogenen, durch Schmelzen des Nitrats erhaltenen Stangen von Silbernitrat vor der Herstellung der Lösung abzuwaschen.

10 Weston-Elemente des Stammes wurden vor und nach jedem silbervoltametrischen Versuch unter einander verglichen und öfter an den Stamm angeschlossen.

In naher Übereinstimmung mit der im Jahre 1908 gefundenen Zahl für die E.M.K. des Weston-Elements, sowie mit dem in Washington aus den Versuchen mit Tiegeln der Reichsanstalt allein abgeleiteten Wert, ergab sich aus diesen Messungen sehr nahe der oben erwähnte von der Internationalen Kommission zur Annahme empfohlene Wert.

Die Veröffentlichung über diese Arbeit ist in Vorbereitung.

---

[1]) v. Steinwehr, Feustel.

6. Elektrisches Leitvermögen von Salzlösungen[1].

Das in F. Kohlrauschs Nachlaß befindliche Zahlenmaterial über Leitvermögen wäßriger Salzlösungen wurde, soweit seine Veröffentlichung von Kohlrausch selbst beabsichtigt war (vgl. den vorigen Tätigkeitsbericht, *diese Zeitschr. 30. S. 107. 1910*), druckfertig gemacht. Es soll als Anhang zu den „Wissenschaftlichen Abhandlungen" von Kohlrausch erscheinen.

III. Strahlung.

1. Wellenlänge der Trabanten verschiedener Spektrallinien[2].

Die Untersuchung der Struktur feinster Spektrallinien wurde nach der beschriebenen Methode des Vakuum-Lichtbogens mit Wehnelt-Kathode fortgesetzt. Bei den Metallen mit hohem Schmelzpunkt stellten sich z. T. erhebliche Schwierigkeiten ein. Diese rührten hauptsächlich daher, daß die Kathoden, da hohe Stromstärken erforderlich waren und die Metalle vielfach Kohle enthielten, sehr rasch verbraucht waren und durchbrannten. Außerdem war bei den überaus linienreichen Elementen auch die Identifizierung der Linien schwierig, zumal nicht nur die Intensitätsverteilung von der des gewöhnlichen Bogens abweicht, sondern auch noch Linien hinzukamen, die von Verunreinigungen des betreffenden Metalles mit anderen Elementen stammten. Die Untersuchung von Eisen und Nickel wurde zu Ende geführt; ferner wurden Molybdän, Palladium, Silizium, Tellur, Uran und Wolfram behandelt. Trabanten wurden bei diesen Elementen nur in sehr geringer Zahl gefunden.

2. Anodenstrahlen[3].

An Hand der bisher an den positiven Strahlen bekannten Tatsachen, insbesondere aus den an den Spektren der Anodenstrahlen gewonnenen Resultaten, wird die auch früher schon von Pringsheim geäußerte Ansicht, daß die Protuberanzen der Sonne in beschleunigten, positiven Ionen bestehen, nahegelegt. Insbesondere lassen sich Gründe dafür geltend machen, daß die eruptiven Protuberanzen der Sonne Anodenstrahlen sind (vgl. Anh. Nr. 13 u. 24).

3. Elektrizitätsleitung in elektronegativen Stoffen[4].

Die meisten bisher bekannten Beobachtungen über den Einfluß glühender Körper in einer Gasentladung haben gezeigt, daß das Entladungspotential durch glühende Körper herabgesetzt wird. Es wurde nun aber festgestellt, daß bei Gegenwart feuchter elektronegativer Dämpfe im Entladungsrohr der Widerstand des Rohres durch weißglühendes Platin eine *Erhöhung* erfährt, gleichgültig ob das weißglühende Platin mit Anode, Kathode oder mit keiner Elektrode verbunden ist. Bedingung für das Zustandekommen dieses Effekts ist, daß sich das glühende Platin in der Entladungsbahn befindet.

4. Magnetisches Spektrum und Dopplerspektrum[5].

Es wurden im Anschluß an die früheren Untersuchungen positiver Strahlen Versuchsergebnisse von J. J. Thomson und W. Wien nachgeprüft. J. J. Thomson hatte behauptet, daß die Kanalstrahlen in verschiedenen Gasen stets nur Wasserstoffstrahlen zeigen, mit Ausnahme des Heliums, wo auch Heliumstrahlen von ihm beobachtet wurden. Hierauf hatte er die Theorie von einer Umwandlung der Materie bei der Gasentladung im hohen Vakuum gegründet; insbesondere sollte der Wasserstoff sich aus Stickstoff, Sauerstoff u. s. w. bilden. Dem gegenüber standen ältere Beobachtungen von W. Wien, welcher in Sauerstoffkanalstrahlen positive, dem einwertigen Sauerstoffion entsprechende Strahlen durch magnetische Ablenkung gefunden hatte. Durch geeignetere Anordnung der Versuchsbedingungen ist es nun gelungen, auch im hohen Vakuum Sauerstoffkanalstrahlen zu erzeugen; diese wurden durch magnetische Ablenkung in scharf getrennte Strahlen aufgespalten, die sich gut messen ließen und außer Wasserstoffatom- und Wasserstoffmolekülstrahlen noch positive, einwertige Sauerstoffstrahlen ergaben. In Helium wurden außer den Wasserstoffstrahlen im Einklang mit Thomson einwertige, positive Heliumstrahlen beobachtet. Es gelang in diesen Versuchen nicht, die Wasserstoffstrahlen zu unterdrücken; auch Strahlen, die einem noch größeren, unbekannten Atomgewicht entsprechen, wurden gelegentlich beobachtet (Anh. Nr. 15 u. 16).

---

[1]) Grüneisen, v. Steinwehr.
[2]) Janicki.
[3]) Gehrcke, Reichenheim.
[4]) Reichenheim.
[5]) Gehrcke, Reichenheim.

Im Zusammenhang mit diesen Versuchen ergab sich die Möglichkeit, die Singularitäten des Doppler-Effekts in Wasserstoffstrahlen auf eine einfachere Weise zu erklären als nach dem Vorgange von Hrn. J. Stark mit Hilfe der Hypothese der Lichtquanten. Wenn man nämlich annimmt, daß (im Einklang mit den Ergebnissen der magnetischen Ablenkungsversuche) Wasserstoffatom- und -molekülstrahlen beschleunigt werden und, sei es nach erfolgter Dissoziation, sei es nach erfolgter Assoziation, die Balmersche Serie emittieren, so läßt sich auf Grund dieser Anschauung eine Erklärung des von Paschen entdeckten doppelten Maximums der bewegten Intensität geben. Die weitere Nachprüfung dieser Erscheinung ergab, daß die Intensitätsverteilung im Doppler-Effekt von der Größe der Kathode bezw. vom Gasdruck abhängt. Dieses Ergebnis spricht zugunsten der Auffassung, daß die verschiedenen Doppler-Streifen durch verschiedene, ursprünglich vorhandene Teilchen erzeugt werden.

5. Messung von ε/μ an Kathodenstrahlen[1].

Die im vorjährigen Tätigkeitsbericht erwähnte neue Methode zur genauen Messung magnetischer Feldstärken wurde dahin weiter fortgeführt, daß nunmehr die absolute Messung des magnetischen Feldes mit Hilfe einer geeichten Normalspule zu erreichen versucht wurde. Hierzu mußte zunächst eine Spule gewickelt werden, welche auf einem genügend großen Raum von mehreren *cm* Länge ein magnetisches Feld von genügender Stärke auf etwa 0,1‰ konstant besitzt. An einer Reihe zu diesem Zwecke hergestellter Spulen zeigten sich stets von geringen Unregelmäßigkeiten der Wicklung herrührende Individualitäten des Feldverlaufs, welche nirgends die gesuchte Konstanz der Feldstärke aufwiesen. Erst durch Herstellung bedeutenderer Spulendimensionen (Länge 1,50 *m*, Durchmesser 10 *cm*) ließ sich der gewünschte, konstante Bereich von 8 *cm* Länge verwirklichen. Die Eichung dieser Spule mit Hilfe eines in seiner geometrischen Form genau definierbaren Leiters ist in Angriff genommen worden. Zu diesem Zweck wurde ein magnetischer Indikator hergestellt, der im wesentlichen aus einer sehr stark gedämpften Magnetnadel besteht, welche den schnellen, durch die Straßenbahnen hervorgerufenen Störungen und auch den schnellen mechanischen Erschütterungen nicht folgt und in diesem Sinne als störungsfrei bezeichnet werden kann.

6. Herstellung eines Spektralbolometers für das Ultraviolett[2].

Auf Veranlassung des Unterzeichneten wurde die Herstellung eines für Absorptionsmessungen im Ultraviolett bestimmten Spektralbolometers begonnen.

7. Bestimmung der Konstanten c des Strahlungsgesetzes schwarzer Körper[3].

Die Versuche über den Wert der Konstanten c des Wien-Planckschen Strahlungsgesetzes sind fortgesetzt und erweitert worden. Es handelt sich hauptsächlich um Helligkeitsvergleichungen des schwarzen Strahlers bei verschiedenen Temperaturen, von welchen die niedrigste der Goldschmelzpunkt ist. Die höheren Temperaturen wurden gemessen 1. nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz $E_m \cdot T^{-5} = konst.$ mit einem Flußspatprisma, 2. ebenso mit einem Quarzprisma, 3. nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz, 4. wurde als höhere Temperatur der Palladiumschmelzpunkt gewählt. Diese Methoden liefern bis jetzt Werte von c zwischen 14200 und 14600; eine sichere Entscheidung ist noch nicht erlangt. Die kleinsten Werte von c lieferte das Stefan-Boltzmannsche Gesetz (3.), höhere das Quarzprisma (2.), die höchsten das Flußspatprisma (1.). Für Flußspat wurde die Dispersionskurve des Hrn. Paschen, für Quarz die des Hrn. Carvallo zugrunde gelegt. Die Versuche werden fortgesetzt mit dem Ziel, die verschiedenen Methoden in Übereinstimmung zu bringen; zu diesem Zweck sind u. a. neue Bestimmungen der Dispersion von Flußspat und Quarz in Angriff genommen (s. Tätigkeitsbericht der Abteilung II, *C. IV*).

Weiter wurde c 5. aus Isochromaten im Ultrarot und 6. aus der Goldschmelzpunktsisotherme nach der Beziehung $c = 4{,}9651 \cdot \lambda_m \cdot T$ bestimmt, wobei man λ_m aus $E_\lambda / E_{\lambda_m}$, d. h. aus dem Verhältnis der Intensitäten bei λ_m und einer Wellenlänge $\lambda < \lambda_m$ nach dem Planckschen Gesetz ableitete. Dabei zeigte sich im Ultrarot ein Gang der berechneten c-Werte so, daß zwar die Werte aus Isotherme und Isochromaten unter Benutzung derselben Wellenlänge

[1]) Gehrcke, v. Wogau.
[2]) Gehrcke, v. Wogau.
[3]) Warburg. Leithäuser.

nahe übereinstimmten, aber mit wachsender Wellenlänge im Ultrarot wuchsen. Dieser Gang war viel kleiner bei Quarz als bei Flußspat.

Die okulare Einstellung des Spaltbildes auf den Bolometerfaden für Natriumlicht wird durch den Astigmatismus der Spiegel des Spektrometers erschwert; es ist auf das schmalste Spaltbild einzustellen, wobei ein Querfaden auf dem Spalt nicht sichtbar wird. Man vermeidet diesen Übelstand, indem man die Reflexion am ersten Spiegel, wie gewöhnlich, in der Horizontalebene, die Reflexion am zweiten Spiegel aber in der Vertikalebene vornimmt, nämlich bei senkrechter Inzidenz durch schwache Drehung dieses Spiegels um eine horizontale Achse den reflektierten Strahl über das Prisma hinweg auf das Bolometer wirft. Bei dieser Anordnung erhält man ein scharfes Spaltbild; der Querfaden ist bei schmalstem Spaltbild sichtbar.

(Fortsetzung folgt.)

Referate.

Synchronisations-Einrichtung für Chronographen.

Von E. Esclangon. *Compt. rend.* **152.** *S. 170. 1911.*

Der in Frankreich zumeist verwendete Chronograph von Gautier wird durch folgende Einrichtung mit einer Uhr synchronisiert. Im Chronographen befindet sich ein Laufrad, dessen Umdrehungszeit um einen ganz geringen Betrag größer ist als eine Sekunde. Ein am Laufrad befindlicher Stift trifft bei jeder Umdrehung des Rades gegen einen Anschlag, welcher von einem Elektromagneten beseitigt werden kann, der zu diesem Zwecke von Sekunde zu Sekunde von einer Pendeluhr erregt wird. Das Laufwerk wird demnach sekundlich auf einen Augenblick angehalten und erst wieder freigelassen, wenn genau eine Sekunde seit Beginn der Drehung verflossen ist. Esclangon schlägt dafür die an sich bekannte Einrichtung der Fig. 1 vor. Das Sekunden-Laufrad erhält eine feste Scheibe R mit zwei um 180° auseinander liegenden Weicheisen-Ankern P und P_1. In der Achsenebene des Laufrades sind die beiden Elektromagnete $E E_1$ angeordnet, welche jede Sekunde von der Pendeluhr momentan erregt werden und die Winkelstellung des Laufrades korrigieren, gleichgültig, ob der Chronograph vor- oder nacheilt. Die Breite der Anker läßt sich leicht dem mittleren Winkel POM anpassen, um welchen die Winkelgeschwindigkeit des Laufrades variiert. Die Einrichtung erhält jedoch noch einen beachtenswerten Vorzug, wenn man die Elektromagnete auf eine Scheibe R_1 (Fig. 2) selbständig drehbar anordnet. Läßt man z. B. R_1 in 24 Stunden eine Umdrehung machen, so wird das Laufrad bei gleichem Drehungssinn mit R_1 in der gleichen Zeit $86400 + 1$ Umdrehungen machen, allgemein je nach dem relativen Drehungssinn der Magnete und Anker $86400 \pm n$ Umdrehungen. Macht man $n = + 236{,}56$, so kann man demnach mit einer Uhr, welche *mittlere Zeit* gibt, das Laufrad R des Chronographen auf *Sternzeit* regulieren. R_1 muß demnach von einem Hilfswerk 236,56 Umdrehungen in 24 Stunden erhalten. Eine tägliche Variation von 6 Minuten im Hilfswerk würde im Chronographengang erst 1 Sekunde Fehler hervorrufen. Es sind also an die Präzision des ersteren keine großen Anforderungen zu stellen. Die Tatsache, daß R_1 von der Hemmung des Hilfswerks sprungweise, nicht kontinuierlich angetrieben wird, veranlaßt keine wesentlichen Fehler. Auch diese fallen heraus, wenn das Hilfswerk und R vom gleichen Pendel synchronisiert werden. Es wäre natürlich denkbar, eine ähnliche Synchronisations-Einrichtung bei photographischen Äquatorealen zur objektiven Beobachtung von Sternen mit Eigenbewegung anzuwenden. *G.*

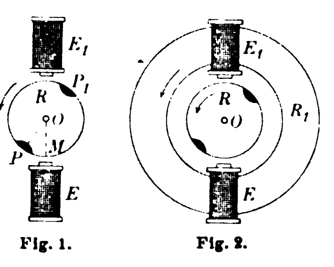


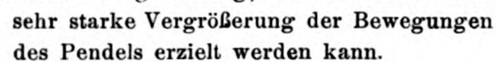
Fig. 1. Fig. 2.

Neuer Seismograph für die Vertikal-Komponente.

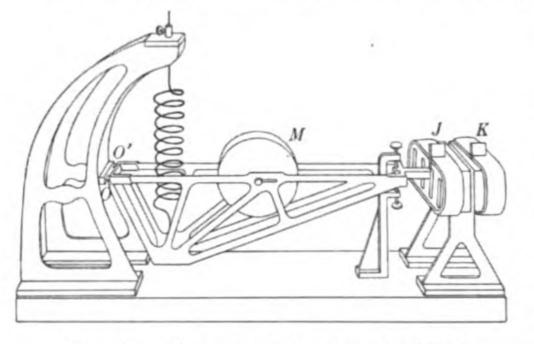
Von Fürst B. Galitzin. *Compt. rend.* ***150.*** *S. 1727. 1910.*

Im Jahre 1903 wurde von Fürst B. Galitzin die Beschreibung eines Horizontalpendels für Erdbebenbeobachtungen veröffentlicht, dessen Schwingungen durch Anbringung einer sehr starken magnetischen Dämpfung aperiodisch gemacht sind, und bei dem zur Vergrößerung der Ausschläge des Pendels ein aperiodisches Galvanometer zur Anwendung kommt (vgl. *diese Zeitschr.* ***24.*** *S. 300. 1904*).

Die Vorzüge dieses Instrumentes, das sich in der seismometrischen Praxis ausgezeichnet bewährt hat, bestehen darin, daß zunächst die wahre Bodenbewegung fast rein dargestellt wird, allerdings je nach ihrer Periode in verschiedener Vergrößerung, und daß ferner eine



sehr starke Vergrößerung der Bewegungen des Pendels erzielt werden kann.



Fürst Galitzin hat nun diese beiden Einrichtungen auch bei einem Vertikalseismometer, das zur Registrierung der vertikalen Komponente der Bodenbewegung bestimmt ist, zur Anwendung gebracht.

Das Seismometer selbst (vgl. die nebenstehende Figur) ist nach einem Prinzip gebaut, das wohl zuerst von Ewing angewandt ist.

Ein doppelter, in sich starr verbundener Metallrahmen trägt in der Mitte die Masse M. Der Rahmen ist bei OO' mit zwei feinen Stahllamellen an dem Stativ so befestigt, daß er in einer vertikalen Ebene schwingen kann. Eine Spiralfeder, die unten am Rahmen angreift kann oben am Stativ mit Hilfe einer Schraube so gespannt werden, daß sie die obere Kante des Rahmens in eine horizontale Lage bringt. Dadurch, daß die Feder nicht oben, sondern unten am Rahmen angreift, wird bewirkt, daß beim Schwingen des Rahmens und der Masse eine Veränderung der Länge des Hebelarms, an dem die Feder wirkt, eintritt. Wie man sofort sieht, wird der Hebelarm beim Schwingen des Rahmens nach unten kleiner, es erfolgt also eine Schwächung der Federwirkung; umgekehrt ist es beim Schwingen des Rahmens nach oben, wo infolge der Vergrößerung des Hebelarms eine Verstärkung der Federwirkung eintreten muß.

Durch eine solche Anordnung wird die Schwingungsdauer des Seismometers vergrößert, was aus bestimmten Gründen sehr erwünscht ist. Sie kann innerhalb gewisser Grenzen geändert werden, wenn man den Angriffspunkt der Feder mehr nach dem Stativ hin verlegt oder von ihm entfernt, wofür eine entsprechende Einrichtung vorgesehen ist. Galitzin hat mit Leichtigkeit eine Schwingungsdauer von 13 Sek. erreicht. Der Rahmen trägt vorn eine Stange, an der zunächst eine Kupferplatte K befestigt ist, die zwischen den Polen eines starken permanenten Magneten schwingt. Die Dämpfung ist so stark gewählt, daß die Schwingungen aperiodisch verlaufen.

Außer dieser Kupferplatte ist an der Stange noch eine rechteckige, aus feinem Kupferdraht bestehende Spule J befestigt. Da diese sich ebenfalls zwischen den Polen eines starken permanenten Magneten befindet, so müssen beim Schwingen des Rahmens in ihr Induktionsströme hervorgerufen werden, die durch ein aperiodisches Galvanometer photographisch registriert werden. Periode und Amplitude der Schwingungen des Seismometers sind in einfacher Weise aus den Aufzeichnungen des Galvanometers abzuleiten.

Ein sehr wesentlicher Vorteil dieses Vertikalseismometers gegenüber den gleichen Instrumenten anderer Konstruktion ist, daß die Anbringung einer Temperaturkompensation nicht erforderlich ist. Die Vertikalseismometer sind im allgemeinen sehr empfindlich gegen Temperaturschwankungen, durch die die Spannkraft der Spiralfeder verändert wird, und die Kompensation wirkt nie vollkommen. Da bei dem vorliegenden Apparat bei ganz lang-

samen Bewegungen der Induktionsspule zwischen den Magneten, wie sie bei Temperaturschwankungen eintritt, die erzeugten Ströme praktisch Null sind, so kann eine Nullpunktsverlagerung der Aufzeichnungen durch Temperaturschwankungen nicht verursacht werden.

Hck.

Die Instrumentenzentrale des indischen Vermessungsamtes.

The Engineer **110.** *S. 348 u. 377. 1910.*

Das *„Survey Department“* der Regierung von Englisch-Ostindien ist wohl die ausgedehnteste Vermessungsbehörde der Welt. Schon vor 80 Jahren ist für den *„Survey of India“* ein besonderes *„Mathematical Instrument Office“* in Kalkutta gegründet worden, hauptsächlich zur Reparatur, Untersuchung und Justierung der Meßinstrumente; doch wurde auch bald mit dem Bau wenigstens kleinerer Instrumente begonnen. Im Jahr 1888 ist dieses *Office* sehr erweitert worden dadurch, daß andere Zweige des *„Department“* (Zeichnung, Stich, Vervielfältigung der Karten und Pläne u. s. f.) in besonderen Gebäuden damit vereinigt wurden. Es werden ferner jetzt nicht nur die Vermessungsinstrumente des *Survey* behandelt und z. T. gebaut (mit Ausschluß größerer *optischer* Einrichtungen), sondern überhaupt alle Instrumente der öffentlichen Dienste in Indien (Eisenbahnen, Wasserversorgungswesen, Arsenale, meteorologischer Dienst, Städte, Eingeborenen-Staaten). Die Einrichtungen werden nun in dem angeführten Aufsatz einigermaßen beschrieben und abgebildet. Als Kreisteilmaschine dient eine von Troughton & Simms 1869 gelieferte, völlig automatische Maschine, auf der Kreise bis 60 *cm* Durchmesser geteilt werden können; die zahlreichen Längenteilmaschinen stammen z. T. von Cooke, z. T. von der *Société genevoise* (automatisch) her. Hierbei wird einiges über die Herstellung der Nivellierlatten mitgeteilt; es werden Latten aus lange gelagertem Holz verwendet. Die Latten bleiben, nachdem sie die Hand des Schreiners verlassen haben, nochmals ein Jahr lang ohne weitere Behandlung liegen (nach den Erfahrungen des Ref. nicht zweckmäßig; sie sollten früher die ersten Grundanstriche bekommen); sie werden folgeweise 3-mal schwarz und 3-mal weiß bemalt, endlich zweimal mit weißem „Email“ überzogen. Die vom Stichel der Längenteilmaschine gezogenen Teilstriche auf diesem Email werden mit schwarzem „Email“ ausgefüllt und die ganze Latte schließlich gefirnißt. Der berühmte Theodolit von Troughton & Simms vom Jahr 1830 mit 36 Zoll (rd. 90 *cm*) Horizontalkreisdurchmesser und 24 Zoll (rd. 60 *cm*) Höhenkreisdurchmesser, der verschiedenerlei Umbauten durchgemacht hat, wird in seiner jetzigen Form (aber nur klein) abgebildet und daneben, zum Vergleich, ein modernes englisches 12-zölliges (30 *cm*) Universal.

Hammer.

Verwendbarkeit von Siedethermometern und Quecksilberbarometern zur Höhenmessung.

Von P. Samel. *Inaugural-Dissertation, Marburg 1910.*

Nach einem geschichtlichen Überblick über die Versuche, das Siedethermometer für geodätische Messungen zu benutzen, gibt der Verf. eine Beschreibung der von ihm verwendeten Instrumente. Es waren dies Siedethermometer aus Glas 59^{III} in Einschlußform, die teils von R. Fuess in Steglitz, teils von C. Richter in Berlin bezogen waren und in kleinen Siedeapparaten v. Dankelmannscher oder Grützmacherscher Konstruktion benutzt wurden, sowie Quecksilberbarometer verschiedener Konstruktion, nämlich solche nach Wild-Fuess, Fortin und Darmer. Die Untersuchungen des Verf. erstrecken sich hauptsächlich auf die Trägheit der Thermometer, auf die Genauigkeit der Thermometer und Barometer und auf den Grund für die während des Siedens auftretende Standänderung der Siedethermometer.

Die Trägheitsbestimmungen ergaben, daß die untersuchten Siedethermometer etwa 5 Minuten nach Einsetzen in den kleinen Siedeapparat konstanten Stand angenommen haben. Wird die Heizflamme für $^1/_2$ Minute entfernt, so ist nach dem Wiedereinsetzen des Brenners eine Wartezeit von etwa 2 Minuten bis zur Ablesung notwendig. Die Genauigkeit einer Einzelablesung am Siedethermometer wurde in folgender Weise bestimmt: der Stand eines ab-

getrennten Quecksilberfadens wurde an beiden Enden abgelesen und diese Ablesung wiederholt, nachdem der Faden um 0,2 bis 1 *mm* gegen seine erste Lage verschoben war; der Unterschied der Längen, die sich für den Faden in den beiden Lagen ergaben, wurde als Maß der Ablesegenauigkeit angesehen, was wegen der möglichen Kaliberfehler bedenklich erscheint, für die weiteren Untersuchungen des Verf. jedoch nicht in Betracht kommt.

Die Genauigkeitsbestimmung einer Einzelablesung am Quecksilberbarometer erfolgte durch mehrfache Einstellung und Ablesung des Barometers bei konstantem Barometerstand. Als mittlerer Fehler einer Luftdruckbestimmung mit dem Fuessschen Normalbarometer von 14 *mm* Röhrendurchmesser, der aus vergleichenden Beobachtungen der Barometer durch Aufstellung von Fehlergleichungen gewonnen wurde, ergab sich etwa $\pm 0{,}03$ *mm* Barometerstand Bei den Reisebarometern nach Fortin und Darmer mit 4 und 7 *mm* Röhrendurchmesser waren die entsprechenden Größen etwa $\pm 0{,}05$ und $\pm 0{,}08$ *mm*. Auf den Einfluß der Temperaturbestimmung der Quecksilbersäule, die ja bei den Barometern meist die Hauptfehlerquelle darstellt, ist hierbei nicht im einzelnen eingegangen.

Als mittlerer Fehler einer Luftdruckbestimmung mit dem Siedethermometer wurde unter Zugrundelegung des obigen Werts für die Genauigkeit des Fuessschen Normalbarometers im Mittel der Wert $\pm 0{,}1$ *mm* Barometerstand gefunden, wobei zu bemerken ist daß sich dieser Wert auf die Benutzung der Siedethermometer in den leicht transportablen kleinen Siedeapparaten bezieht, deren Verwendung bei geodätischen Messungen ja allerdings meist notwendig sein wird.

Neu und für die Kritik der Siedethermometer von Interesse ist die Art und Weise, auf welche der Verf. die Frage untersucht, inwieweit die Standänderung der Siedethermometer während des Siedens auf Abdestillieren von Quecksilber zu schieben ist. Die Messungsmethode bestand darin, daß nach der Siedung, deren Einfluß untersucht werden sollte, ein Faden losgetrennt und nahe bis zu der Skalenstelle, die der vorher gemessenen Siedetemperatur entsprach, vorgetrieben wurde. Sodann wurde die Länge dieses Fadens mit Hilfe eines komparatorähnlichen Meßinstrumentes bestimmt und diese Messung bei möglichst genau derselben Lage des Fadens wiederholt, nachdem das abdestillierte Quecksilber mit dem Faden durch Verschieben bis zum Ende der Kapillare vereinigt war. Bei dieser Längenbestimmung war es nur erforderlich, die Stücke des Fadens zu messen, um welche er an beiden Enden über zwei bestimmte Teilstriche hinausragte, da es ja nur auf die Veränderung der Länge durch Aufnahme des überdestillierten Quecksilbers ankommt. Die Längenänderung des Fadens wurde stets auf 0° C. reduziert. Aus der Längenänderung des Fadens kann leicht ermittelt werden, um wieviel sich die Anzeige des Thermometers während des Siedens durch Abdestillieren von Quecksilber geändert hat, wenn man die Länge eines Skalenteils des Thermometers kennt. Bei den Thermometern, deren Teilung direkt die der Siedetemperatur entsprechende Barometerhöhe angab, wurde als maßgebende Größe die Länge eines Intervalls bei dem Teilstrich 760 *mm* angesehen. Aus den Messungen des Verf. folgt, daß die Menge des abdestillierten Quecksilbers der Anzahl der vorausgegangenen Siedungen proportional ist, vorausgesetzt, daß sie von gleicher Dauer waren, und daß die Länge des herausragenden Fadens und die Temperatur der Umgebung immer dieselbe Größe hatten. Bei neun Versuchen, bei denen je 2 bis 10 Siedungen von je 10 Min. Dauer vorgenommen wurden, schwankte die für eine Siedung berechnete Menge des abdestillierten Quecksilbers bei einem Thermometer nur um etwa 25 Prozent, bei einem andern Thermometer um etwa 12 Prozent, ohne daß ein systematischer Gang wahrzunehmen war. Die Menge des abdestillierten Quecksilbers ist ferner, wie nach den vorstehenden Versuchen zu erwarten war, und wie durch besondere Versuche bestätigt wurde, bei gleichen sonstigen Verhältnissen der Länge der Siededauer proportional. In sehr starkem Maße hängt das Abdestillieren natürlich von der Länge des herausragenden Fadens ab. Im einzelnen ist dies aus der folgenden Tabelle zu ersehen, die sich auf ein Richtersches Siedethermometer bezieht. In derselben bedeutet l die Länge des herausragenden Fadens in *mm*, δl die Menge des in 10 Min. abdestillierten Quecksilbers, in *mm* Fadenlänge ausgedrückt, und t die Außentemperatur in Grad C.

l mm	δl mm	t °C
0,5	0,0238	26
2,0	0,0180	28
5,6	0,0118	28
9,2	0,0042	28
14,8	0,0048	34
20,0	0,0018	27
23,0	0,0012	36

Bei 20 *mm* Länge des herausragenden Fadens beträgt die Menge des abdestillierten Quecksilbers in 10 Min., auf Millimeter Barometerstand reduziert, für das vorstehende Thermometer etwa 0,003 *mm*, sodaß selbst bei einer derartigen Länge des herausragenden Fadens noch ab und zu eine Reinigung der Kapillare durch Abtrennen und Verschieben eines Fadens erforderlich ist. Die Außentemperatur, deren Einfluß der Verf. ebenfalls untersucht, kommt insofern in Betracht, als einerseits die Temperatur des Fadenendes und andererseits die Temperaturdifferenz zwischen diesem und der darüber liegenden Kapillare, in der das abdestillierte Quecksilber kondensiert, durch sie bestimmt wird. Steigt die Außentemperatur von 6° auf 38° C., so steigt die Menge des abdestillierten Quecksilbers bei einem herausragenden Faden von 0,5 *mm* Länge für ein Fuesssches Einschlußthermometer etwa um 60 Prozent.

Durch die vorstehende Untersuchung wird die Auffassung Mohns[1]) bestätigt, daß der Hauptgrund für die Standänderung von Siedethermometern während des Siedens in dem Abdestillieren von Quecksilber zu suchen ist. Auch die von Hecker[2]) an Fuessschen Siedethermometern beobachtete Standänderung läßt sich, wie der Verf. zeigt, fast völlig auf Abdestillieren von Quecksilber zurückführen.

Als praktisches Resultat entnimmt der Verf. seinen Untersuchungen, daß die mit Siedethermometern und transportablen Siedeapparaten erreichbare Genauigkeit bei relativen Luftdruckbestimmungen etwas kleiner ist als bei den Reisebarometern von Fortin und Darmer, daß sie aber entgegen neuerdings aufgetretenen Bedenken[3]) für Höhenmessungen völlig ausreicht. Als Länge des herausragenden Fadens schlägt der Verf. etwa 5 *mm* vor, da bei noch größerer Länge desselben die an der Angabe des Thermometers anzubringende Korrektion unsicher würde, was sich indessen nach der Art der Siedeapparate und ihrer Aufstellung richten dürfte. Nach jeder Siedung ist die Kapillare durch Lostrennen und Verschieben eines Fadens zu reinigen. *Mfsr.*

Eine Methode zur Untersuchung elliptischen Lichtes und die Bestimmung der optischen Konstanten von Metallen.

Von A. Q. Tool. *Phys. Rev.* **31.** *S. 1. 1910.*

Mit dem elliptischen Halbschatten-Polarisator und Kompensator von Brace (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **26.** *S. 94. 1906*) lassen sich direkt nur kleinere Phasendifferenzen ausmessen. Um solche beliebiger Größe bestimmen zu können, hat der Verf. die Methode von Brace mit derjenigen von Stokes vereinigt, bei welcher elliptisches Licht mit Hilfe eines Kompensators von angenähert 1/4 Wellenlänge in lineares verwandelt wird. Das Halbschattenpolarimeter für elliptisches Licht ist nunmehr folgendermaßen zusammengesetzt.

Aus dem Objektiv des Spaltrohres eines Spektrometers treten die Parallelstrahlenbüschel durch den am Spaltrohr angebrachten Polarisator hindurch und durchsetzen dann die Halbschattenanalysator-Vorrichtung, welche vor dem Fernrohr-Objektiv befestigt ist, um

[1]) *Diese Zeitschr.* **28.** *S. 250. 1908.*

[2]) *Diese Zeitschr.* **23.** *S. 282. 1903.*

[3]) Dehalu, *L'hypsomètre comme baromètre de voyage. Bull. de la société Belge d'Astron. 1907. Nr. 2.*

darauf schließlich in das Fernrohr zu gelangen. Der Kompensator der Analysator-Vorrichtung besteht aus einer nahe $^1/_4$ Wellenlängen-Platte von Glimmer oder Selenit und ist um die Fernrohrachse drehbar; der mit ihm fest verbundene Teilkreis läßt an einem festen Nonius die Drehung bis auf 0,01° ablesen. Mit einem zweiten beweglichen Nonius, der gleichfalls über dem Kompensator-Teilkreis spielt, ist der Analysator-Nicol fest verbunden; dieser befindet sich dicht am Fernrohr-Objektiv und ist ein Jellettscher Halbschattennicol, dessen gespaltene Hälfte dem Polarisator zugekehrt ist. Mit dem Jellettschen Zwillingsprisma fest verbunden ist die Bracesche Halbschatten-Doppelplatte aus Glimmer, deren beide Hälften Phasendifferenzen von verschiedenen Ordnungen erzeugen. Sie sitzt dicht am Jellettschen Prisma zwischen diesem und dem Kompensator, sodaß ihre Trennungslinie und diejenige des Jellettschen Prismas gleichzeitig scharf gesehen werden können. Was die Herstellung und Befestigung der Brace-Platte betrifft, so ist es am besten, wenn ihre Hauptachse mit der Trennungslinie einen Winkel von angenähert 45° bildet und letztere senkrecht zur Trennungslinie des Jellettschen Prismas gestellt wird, sodaß die optische Achse des letzteren und die Hauptachse der Brace-Platte einen Winkel von 45° einschließen. Das Gesichtsfeld ist daher in vier gleiche Teile geteilt; zur Einstellung auf dieses wird ein passendes Okular benutzt, während das mit diesem austauschbare Fernrohr nur beim Justieren des Spektrometers gebraucht wird.

Das Prinzip dieser Methode besteht demgemäß darin, das zu untersuchende Licht mit Hilfe des Kompensators in solches von geringer Elliptizität zu verwandeln und dieses mittels der Brace-Platte zu prüfen. Die nicht einfache Theorie des Apparates ist bereits früher von Tuckerman gegeben worden. Rechnet man mit dem Verf. die Ordnungen der Phasenverschiebungen in Graden, wobei 360° oder 2π der Phasenverzögerung von einer Wellenlänge entspricht, so variierte die mittlere Ordnung der beiden Teile der verschiedenen benutzten Brace-Platten von 0,5° bis 30°, wobei die Ordnungsdifferenz der beiden Hälften nie mehr als 6° und nicht weniger als 1° betrug. Diese Ordnungsdifferenz sowie der Halbschatten des Jellettschen Prismas (in der vorliegenden Arbeit zumeist 2°) sind der Lichtstärke entsprechend zu wählen. Der Spektrometerspalt wird mit bis auf etwa $4\,\mu\mu$ monochromatischem Licht beleuchtet, welches durch einen zweiten Spektralapparat erhalten wird.

Auf den Kompensator falle linear polarisiertes Licht, und es seien, nachdem eine Einstellung ausgeführt worden ist, R und r die auf dem Teilkreise abgelesenen Lagen des Kompensators und Analysators, R' und r' in entsprechender Weise die Lagen bei der zweiten nicht um 180° davon entfernten Einstellung, dann ist, wenn man $R' - R = c$ und $r' - r = n$ setzt, die Ordnungszahl des Kompensators $2\pi N_1$ zu berechnen nach der Gleichung

$$\operatorname{tg} \pi N_1 = \sqrt{\frac{\sin(n-c)}{\sin(n+c)}}$$

und die „wirksame Ordnung“ 2η der Brace-Platte nach der Gleichung

$$\operatorname{tg} 2\eta = \frac{\sqrt{\sin(n+c)\sin(n-c)}}{\sin c}\;.$$

Dabei ist zu beachten, daß von den vier möglichen Einstellungen immer die beiden zusammengehören, für welche

$$\frac{\cos c}{\cos 2\pi N_1} > 0$$

wird. Es ist noch

$$\cos 2\pi N_1 = \frac{\operatorname{tg} c}{\operatorname{tg} n}$$

und

$$\operatorname{tg} 2\eta = -\sin\alpha \operatorname{tg} 2\pi N.$$

Hierin bezeichnet α den von den Achsen der Brace-Platte und des Analysators gebildeten Winkel und $2\pi N$ die mittlere Ordnung der beiden Teile der Brace-Platte.

Läßt man nunmehr elliptisch polarisiertes Licht auf den Kompensator fallen, so kann aus den neuen Einstellungen von Kompensator und Analysator das Achsenverhältnis der

Ellipse und das Azimut der großen Achse berechnet werden. Die dazu nötigen Gleichungen sind komplizierter als die obigen, wobei noch verschiedene Fälle je nach der Größe des Achsenverhältnisses zu unterscheiden sind. Näheres darüber muß deswegen im Original bezw. in der Arbeit von Tuckerman nachgelesen werden.

Zu den Versuchen werden drei verschiedene Kompensatoren und Brace-Platten verschieden hoher Ordnungen benutzt. Die Ordnungen werden graphisch als Funktion der Wellenlänge gegeben, wobei letztere von 400 bis 700 $\mu\mu$ variiert. Darauf erfolgte mit dem Apparat die Bestimmung der optischen Konstanten einiger Metalle: Nickel, Kobalt, Stahl, Kupfer, Gold. Hierbei wird in folgender Weise verfahren. Unter einem Einfallswinkel θ von 55° bis 75° fällt lineares Licht, dessen Polarisationsebene gegen die Einfallsebene um 45° geneigt ist, auf den reflektierenden Metallspiegel, und die Elliptizität des reflektierten Lichtes wird mittels des neuen Polarimeters bestimmt. Aus diesen Messungen lassen sich dann das Brechungsverhältnis ν und der Absorptionskoeffizient $\varkappa$ des Metalles für den Winkel θ berechnen, hieraus die Werte von ν_0 und $\varkappa_0$ für senkrechten Einfall $\theta = 0$, sowie der Haupteinfallswinkel und das zugehörige Hauptazimut des Spiegels, und schließlich noch das Reflexionsvermögen J bei senkrechtem Einfall nach der Formel

$$J = \frac{\nu_0^2\left(1 + \varkappa_0^2\right) + 1 - 2\nu_0}{\nu_0^2\left(1 + \varkappa_0^2\right) + 1 + 2\nu_0}.$$

Es wurde bei diesen Messungen darauf verzichtet, die Genauigkeit des Apparates voll auszunutzen, weil die optischen Konstanten in zu starkem Maße von der Oberflächenbeschaffenheit der Metallspiegel abhängen. Diese ist bekanntlich verschieden je nach der Art des Schleifens und Polierens und ändert sich hernach auch noch allmählich mit der Zeit. Der Einfluß der Luft ist am geringsten bei Gold und Nickel, während Kupfer- und Zinkflächen schon eine merkliche Änderung zeigen, selbst wenn sie nur eine Stunde lang einer sehr trockenen Atmosphäre ausgesetzt werden. Der Verf. ist daher der Ansicht, daß sich die wahren Werte der Konstanten für die Metalle höchstens mit einer wahrscheinlichen Genauigkeit von zwei bis drei Prozent ermitteln lassen. Dagegen hängt die Gestalt der Dispersionskurve der optischen Konstanten zumeist in weniger starkem Maße von der Oberflächenbeschaffenheit der Spiegel ab.

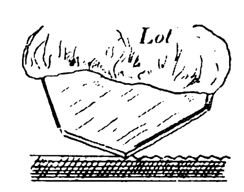
Für die oben genannten fünf Metalle wird in zahlreichen Tabellen und Kurven die Abhängigkeit der Größen ν_0, $\varkappa_0$, $\nu_0\varkappa_0$ und J von der Wellenlänge für das ganze sichtbare Spektrum gegeben. Im allgemeinen stimmen die Dispersionskurven in ihrem Verlaufe gut mit denen anderer Beobachter überein; dagegen weisen bei der gleichen Wellenlänge die von den verschiedenen Forschern bestimmten Konstanten zuweilen beträchtliche Unterschiede in ihrer Größe auf. Es ist dies ein Beweis für die Schwierigkeit, Metallspiegel mit wirklich reinen Oberflächen herzustellen. *Schck.*

Das Echelette-Gitter für das Ultrarot.

Von R. W. Wood. *Phil. Mag.* ***20.*** *S. 770. 1910; Physikal. Zeitschr.* ***11.*** *S. 1109. 1910.*

Bekanntlich sind die durch Gitter erhaltenen Beugungsspektra oft auf der einen Seite lichtstärker als auf der andern; bisweilen kommt es auch vor, daß ein Spektrum höherer Ordnung größere Intensität besitzt als das niedrigerer Ordnung. Dies kann nur von der Beschaffenheit der Gitterstriche herrühren. Leider gibt aber bei der Feinheit derartiger Striche weder das Mikroskop über die Form der Furchen genügende Auskunft, noch kann man mit einiger Sicherheit durch die Art der ritzenden Diamantspitze die Form der Striche bestimmen. Wood machte nun bei genügend großer Gitterkonstante die Furchen selbst so breit, daß er ihre Gestalt beliebig beeinflussen und die Energieverteilung mittels langer Wärmewellen bestimmen konnte. Bei 1000 Strichen pro engl. Zoll (gleich 2,54 *cm*) ist das Verhältnis von Wellenlänge der Reststrahlen von Quarz zur Gitterbreite dasselbe wie für rotes Licht bei einem Rowlandschen Gitter von 14000 Strichen. Nach verschiedenen Versuchen gab die folgende Methode gute Resultate.

Eine ebene Kupferplatte, wie sie der Photograveur beim Halbtonverfahren verwendet, wurde so schwach vergoldet, daß ein Polieren diese dünne Goldschicht sofort beseitigen würde. Ein vorheriges Abschleifen und Polieren der Platte ist zu vermeiden. Denn es entstehen, wohl infolge der ungleichförmigen Härte des Metalls, unregelmäßige Wellen auf der Oberfläche; aus demselben Grunde ist es auch nicht gut, eine dickere Goldschicht aufzutragen und dann zu polieren. Als Gravierspitze wurde der hexagonale Karborundkristall benutzt, indem ein Stück der Substanz, wie es aus dem Schmelzofen kommt, zerbrochen wurde. Aus der nebenstehenden Figur geht die Gestalt des Kristalls und die Art der Montierung hervor. Die Kanten sind so gerade, daß sie eine Furche mit optisch vollkommenen Seitenflächen graben. Von besonderer Wichtigkeit ist ihre Neigung zur Richtung der zu ziehenden Striche; es kommt aber auch vor, daß eine Kante unter keinen Umständen brauchbare Striche zieht. Ist die Kante richtig ausgewählt, unter dem richtigen Winkel montiert und passend belastet, so sind schöne Striche mit optisch guten Seitenflächen zu erhalten, ohne daß trotz der überaus dünnen Vergoldung Metall fortgenommen oder auch nur das Kupfer bloßgelegt wird; die Rillen werden also durch Zusammendrücken des Metalls gebildet.



Der Winkel der ritzenden Kante des Kristalls beträgt 120°; folglich bilden die Seitenflächen der Furchen auch diesen Winkel. Bringt man die Kante in verschiedene Stellungen, so erhält man auch verschiedenartige Rillen; man kann z. B. bewirken, daß die eine Seite der Furche einen Winkel von 12°, die andere einen Winkel von 48° mit der ursprünglichen Fläche bildet. Doch war nicht immer die Summe dieser Neigungswinkel 60°; wahrscheinlich treffen nicht alle Kanten unter einem Winkel von 120° zusammen. Die Neigung der kleinen Flächen gegen die ursprüngliche Ebene wurde mit einem kleinen Spektrometer bestimmt. Meistens wurde der Kristall so montiert, daß die eine Seite der gezogenen Furche mit der ursprünglichen Oberfläche einen Winkel von 20° oder weniger bildet. Bei senkrechter Inzidenz liefert dann diese Seite eine Konzentration der Energie unter einem Winkel von 40°, während die andere Seite fast nichts reflektiert[1]). Bei den besten Gittern zeigte sich keine Reflexion in normaler Richtung, ein Zeichen dafür, daß zwischen den Furchen nichts von der ursprünglich ebenen Fläche übrig geblieben war.

Bei der Untersuchung unterm Mikroskop wurde folgendermaßen verfahren. Zwei Glühlampen wurden rechts und links vom Tubus so aufgestellt, daß die Seitenflächen der Furchen das Licht vertikal in das Objektiv reflektierten. Vor die eine Lampe wurde ein rotes, vor die andere Lampe ein grünes Glas gestellt: Die beiden Seitenflächen der Furchen erschienen in diesen Farben. War jeder rotgrüne Streifen durch eine dunkle Linie getrennt, so war dies ein Zeichen, daß die benachbarten Seitenflächen sich oben nicht trafen; auf ähnliche Weise konnte festgestellt werden, ob das Metall zwischen den Furchen aufgetrieben war oder nicht.

Untersucht man ultrarote Spektren, so zeigt sich, daß ein großer Teil der Energie auf ein bis zwei Spektren nach einer Seite des Mittelbildes konzentriert ist. Beleuchtet man ein solches Gitter mit weißem Licht, so wird der größte Teil der Energie in eine Gruppe von Spektren, etwa von der 12. bis zur 16. oder von der 24. bis zur 30. Ordnung, geworfen. Auf das besondere Verhalten der einzelnen Gitter bei Benutzung weißen Lichts sei nicht näher eingegangen, zumal die Deutung z. T. schwierig ist. Wir haben also Reflexionsgitter mit relativ geringem Gangunterschied vor uns, ein Mittelding zwischen dem gewöhnlichen Gitter und dem Michelsonschen Stufengitter (*„echelon“*). Wood schlägt deshalb für diese neue Art von Gittern den Namen „Echelette-Gitter“ vor.

In einer kurzen Mitteilung[2]) berichten noch A. Trowbridge und R. W. Wood über

[1]) In einer neueren Mitteilung geben A. Trowbridge und R. W. Wood an, daß sich bei einer passenden Neigung der Kante bis 70% der Energie ausnutzen lassen (*Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 1162. 1910; Phil. Mag.* **20.** *S. 886. 1910*).

[2]) Ultrarote Untersuchungen mit dem Echelette-Gitter. *Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 1114. 1910; Phil. Mag.* **20.** *S. 898. 1910.*

Resultate, die sie mit dem Vakuumspektrometer von A. Trowbridge und E. Keil[1]) erhalten haben. Sie untersuchten die Reststrahlen von Quarz und die Strahlung der Kohlensäure der Bunsenflamme; bei der letzteren konnten deutlich drei oder vier bandenförmige Komponenten festgestellt werden, während bisher nur eine einzige Bande beobachtet worden war. Bemerkenswert ist die Überlegenheit der neuen Gitter gegenüber einem Flußspat- oder Steinsalzprisma von 60°. Bei 4 μ ist die Dispersion des Gitters 17-mal so groß als die des Steinsalzprismas, 4-mal so groß als die des Flußspats; bei 9 μ ist die Dispersion des Gitters das 5,4-fache eines Steinsalzprismas von 60°. *L. J.*

Der komplexe Kompensator, ein Apparat zur Messung von Wechselströmen durch Kompensation.

Von A. Larsen. *Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 1039. 1910.*

Um eine unbekannte Spannung V kompensieren zu können, muß man eine Spannung *derselben* Frequenz herstellen, die man nach Größe und Phase mit V gleich macht. Zu dem Zweck schließt man eine mit V synchrone Wechselstromquelle E (Fig. 1) durch einen Schleifdraht AB und die primäre Spule eines Variators für gegenseitige Induktionen BB'; von den Punkten CD des Schleifdrahtes zweigt man durch die sekundäre Spule des Variators zur

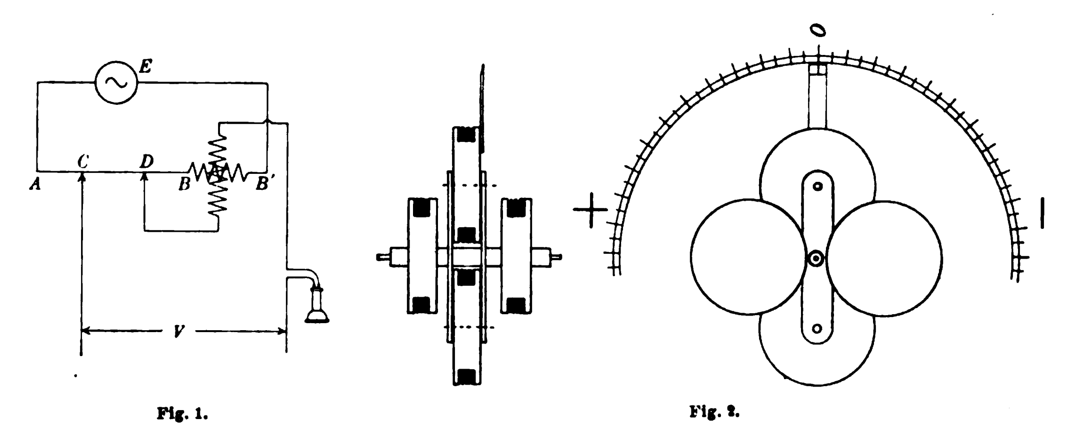


Fig. 1. Fig. 2.

Spannung V ab; der Widerstand w zwischen CD und die gegenseitige Induktion M des Variators werden so lange geändert, bis das Telephon schweigt. Ist $I \sin \omega t$ der Strom in AB, so ist die Spannung

$$V = I(w \sin \omega t + M\omega \cos \omega t)$$
$$= I\sqrt{(w^2 + \omega^2 M^2)} \sin(\omega t + \varphi) \qquad \operatorname{tg} \varphi = \frac{M\omega}{w}.$$

Man sieht, daß $wI \sin \omega t$ und $IM\omega \cos \omega t$ die beiden senkrecht zueinander liegenden Komponenten sind, aus denen man die Spannung V nach Größe und Phase zusammensetzt. w und M sind Apparatkonstanten, I und ω werden gemessen.

Zuweilen handelt es sich nur um Relativmessungen, wenn man z. B. Spannungen und Ströme im primären und sekundären Kreis eines Transformators vergleichen will; in diesem Falle braucht man die Größe von I nicht zu kennen.

Der Variator ist dem von Campbell (vgl. *diese Zeitschr.* **28.** *S. 222. 1908*) nachgebildet, nur mit dem Unterschiede, daß der Larsensche (Fig. 2) *zwei bewegliche* und zwei feste Spulen enthält. *E. O.*

[1]) *Diese Zeitschr.* **30.** *S. 334. 1910.*

Zur Analyse von Wechselstromkurven.

Von **A. Schleiermacher.** *Elektrotechn. Zeitschr.* ***31.*** *S. 1246. 1910.*

Sei
$$y = \Sigma (A_k \sin k x + B_k \cos k x) \qquad k = 1, 3, 5 \ldots$$
die Reihe, welche die zu analysierende Kurve darstellt. Man teilt eine Halbwelle in n gleiche Teile und bildet
$$A_\gamma^{(n)} = \sum_{x=\frac{\pi}{n}}^{x=\frac{n\pi}{n}} y \sin \gamma x \qquad B_\gamma^{(n)} = \sum_{x=\frac{\pi}{n}}^{x=n\frac{\pi}{n}} y \cos \gamma x ,$$
wo γ eine beliebige ganze Zahl ist. Die Berechnung[1]) ergibt:
$$A_\gamma^{(n)} = A_\gamma - A_{2n-\gamma} + A_{2n+\gamma} - A_{4n-\gamma} + A_{4n+\gamma},$$
$$B_\gamma^{(n)} = B_\gamma + B_{2n-\gamma} + B_{2n+\gamma} + B_{4n-\gamma} + B_{4n+\gamma}.$$

Wie man diese Gleichungen verwerten kann, geht aus folgendem Beispiel hervor. Man teile die Halbwelle in $n = 12$ Teile und mache zunächst $\gamma = 1$; man hat dann die Ordinaten in den 12 Teilpunkten mit sin 15, sin 30 ... zu multiplizieren und erhält durch die Summenbildung
$$A_1^{(2)} = A_1 - A_3 + A_5 - A_7 + A_9 - A_{11}$$
$$A_1^{(3)} = A_1 - A_5 + A_7 - A_{11}$$
$$A_1^{(4)} = A_1 - A_7 + A_9$$
$$A_1^{(6)} = A_1 - A_{11}$$
$$A_1^{(12)} = A_1 .$$

Dabei sind alle Amplituden von A_{13} B_{13} an vernachlässigt. Ebenso erhält man durch die Wahl $\gamma = 3$
$$A_3^{(12)} = A_3 .$$

Diese Gleichungen genügen zur einfachen Berechnung von $A_1 A_3 \ldots A_{11}$. Entsprechend werden die B gefunden. Verf. gibt dann noch Anweisungen, wie man bequem erst eine gröbere, dann eine feinere Analyse durchführen kann. *E. O.*

Bücherbesprechungen.

W. Weitbrecht, Lehrbuch der Vermessungskunde. I. Teil. Horizontalmessungen. gr. 8°. VIII, 704 S. m. 368 Fig. u. 1 farb. Beil. Stuttgart, K. Wittwer 1910. 13 M.; geb. 14,50 M.

Das Werk, dessen I. Band hier vorliegt, ist wesentlich für die württembergischen Feldmesser-Kandidaten der „Fachschule für Vermessungswesen“ an der Kgl. Württembergischen Baugewerkschule bestimmt.

Auf die Beschreibung der *Instrumente*, um gleich im Sinn unserer Zeitschrift zu reden, ist durchaus viel Fleiß verwendet, vgl. z. B. die Hilfsmittel zur mechanischen Rechnung, Rechenmaschinen und logarithmische Rechenschieber. So wünschenswert es übrigens wäre, wenn es gelänge, Rechenmaschinen zu konstruieren, bei denen man die Einstellung der Funktionswerte sin, cos, tang durch Einstellung der in Grad u. s. f. gegebenen Winkel bewerkstelligen könnte (der Ref. hat ebenfalls diesem Wunsche schon mehrfach Ausdruck gegeben), so wenig wäre selbst in diesem Fall die „Logarithmentafel“ aus der Reihe „der im Vermessungsberuf zu benutzenden Rechenhilfsmittel zu streichen“.

---

[1]) Über eine Ableitung der nämlichen Gleichungen und ihre Konsequenzen s. Orlich, *Arch. d. Math. u. Phys.* ***12.*** *S. 230. 1907.*

Die Einrichtungen des Theodolits werden ausführlich und im ganzen gut beschrieben, zumal angesichts des sehr beschränkten Materials, das dem Verf. in seiner Instrumentensammlung zur Verfügung steht. Über die Leistungen des Nonius z. B., als des wichtigsten Ablesemittels am Horizontalkreis für die Zwecke des Verf., wird aber der Leser wohl nicht genügend unterrichtet: nach *S. 313* soll die lineare Bogenlänge, die durch den Nonius (Angabe zwischen 10″ und 1′ a. T.) ablesbar gemacht wird, zwischen 1 und 20, im Mittel 5 tausendstel Millimeter betragen; wo ist ein Nonius eingerichtet der 1 μ gibt? Dies würde der Möglichkeit einer Noniuslesung von z. B. 10″ schon an einem Kreis von $r = \frac{206000}{10} \mu = 20$ *mm* Halbmesser, d. h. an einem 4,1 *cm*-Kreis, entsprechen, während bekanntlich zweckmäßig 10″-Nonien erst an Kreisen von 20 *cm*, im äußersten Falle von 18 *cm* Durchmesser eingerichtet werden. Auf der andern Seite ist an einem Kreisteilungsnonius, der *richtig* weit getrieben ist, der mittlere Ablesefehler nicht gleich der Nonienangabe (*S. 310*) sondern sehr wesentlich kleiner, und also auch an sehr kleinen Theodoliten („gewöhnlichen Nonientheodoliten“ zur Kleintriangulierung) kaum bis zum 20-fachen des Einstellfehlers, der mit rund ± 1″ selbst für gut geübte Augen bei z. B. v = 20-facher Vergrößerung des Fernrohrs als Durchschnittszahl zu klein angenommen ist. Richtig ist trotzdem, daß auch heute noch das in den Katastermessungsvorschriften fast allgemein verpönte Repetitionsverfahren der Horizontalwinkelmessung *in manchen Fällen* der Satzmessung oder der einfachen Winkelmessung entschieden vorzuziehen ist. Auch hier möchte ich mich gegen die in Württemberg althergebrachte Bezeichnung „Konstruktion I“ und „Konstruktion II“ des Theodolits je nach der Anordnung der Libelle zur Horizontierung des Instruments wenden (Libellenanordnung I = feste Alhidadenlibelle, Libellenanordnung II = Reit(er)libelle auf der Kippachse); wie soll die *Konstruktion* eines Theodolits bezeichnet werden, an dem beide Arten von Libellen vorhanden sind?

Sehr eingehend und für die praktische Verwendung gut behandelt der Verf. die Verwendung gemessener Horizontalwinkel in der Kleintriangulierung, besonders zur Einschaltung von Neupunkten ins Netz gegebener Punkte, nachdem ein kurzer Blick auf Grundlinienmessung, Basisnetze und Berechnung der Längen der Dreiecksseiten im Hauptnetz geworfen ist (hier wird auf 1 *m* „genau“, z. B. *S. 401*, der Halbmesser der „württembergischen Vermessungskugel“ mit $r = 6\,388\,336$ *m* genommen, während es doch selbst für die feinsten Rechnungen auf 10 *km* kaum ankommt). Die Formeln für die Rechnung in „rechtwinklig“-sphärischen Koordinaten werden im wesentlichen fertig angegeben; aber die ebene Koordinatenrechnung für die Kleintriangulierung und Zugmessung ist, wie schon bemerkt, vollständig und gebrauchsbereit entwickelt (vgl. z. B. für die zuerst genannten Aufgaben die Vereinigung alter und neuer Winkelmessungen u. dgl.). Die direkte Bestimmung der geographischen Koordinaten von Dreieckspunkten wird in § 52 kurz erläutert, wobei aber vielfach mehr Klarheit zu wünschen wäre, ja zahlreiche Fehler mit unterlaufen (um nur etwas davon zu nennen, heißt es bei der Azimutbestimmung: „die Richtung des Meridians . . . . erhält man durch vertikale Projektion der — im Augenblick seiner Kulmination bewirkten — Zielung nach einem Stern auf den Horizont“, während sich über die geodätisch eigentlich allein brauchbare Methode der Horizontalwinkelmessung zwischen einem sein Azimut *langsam* ändernden Stern [Polarstern zu beliebiger bekannter Zeit, dessen p aber 1910 nicht 1° 15′ beträgt; Zirkumpolarstern in der Digression] und dem irdischen Punkt kein Wort findet).

Nachdem der direkten Bestimmung geographischer Koordinaten ebenso kurz die geodätische Übertragung ellipsoidischer geographischer Koordinaten mit Hilfe der rechtwinkligen sphärischen Koordinaten gegenübergestellt ist, und einige Worte über das Einschalten eines Netzes II. O. in ein Netz I. O. beigefügt sind, bespricht der Verf. in § 55 die „Umwandlung“ der sphärischen in ebene Koordinaten, die einfachsten Kartenprojektionen; es ist dies nebst § 52 wohl der am wenigsten gelungene Abschnitt des Buches, in dem hier Verwirrung in die einfachsten und unbedingt feststehenden Definitionen u. dgl. gebracht ist (z. B. soll die „einfache“ oder „gewöhnliche“ Kegelprojektion eine unechtkonische Abbildung sein; der polykonische

Entwurf der Amerikaner wird mit einer Verebnung nach sich folgenden Parallelkreiszonen, die „durch Meridiane untergeteilt“ sind, verwechselt).

Wie die Kleintriangulationsaufgaben sind die Polygonzüge eingehend behandelt (70 S.), übrigens ohne weiter einzutreten auf besondere instrumentelle Ausrüstung für spezielle Bedürfnisse (z. B. bei Stadtvermessungen u. s. f.). Der letzte Abschnitt IV bringt ziemlich kurz die Linienabsteckung (Gerade und Kreisbögen, auch Übergangskurven der Bahn im einfachsten Fall, ferner Absteckung von Ausweichgleisen).

Daß das Buch seinem nächsten Zweck, als Lehrbuch für die württembergischen Feldmesser zu dienen, gerecht zu werden vermag, ist nicht zu bezweifeln, wenn es auch für dieses Ziel viel Überflüssiges und gerade in diesem Überflüssigen Unrichtiges enthält. Unrichtigkeiten im Ausdruck wird der Verf. selbst in einer zweiten Auflage ebenso verbessern wie die Mängel in einzelnen der (im übrigen fast durchaus sehr guten) Figuren (z. B. die Drehlatte Fig. 10 wäre nicht brauchbar), in Aufnahme und Einteilung des Stoffs (z. B. *S. 8* der Heliotrop und seine Bedienung mit einem Hilfsspiegel mitten in den elementaren Signalisierungsvorrichtungen der Feldmessung). „Das Vermessungswesen“ der Katastermessungen ist in dem vorliegenden Band jedenfalls im ganzen gut behandelt. Der 2. Band soll die *Höhenmessungen* bringen.

Hammer.

Neu erschienene Bücher.

W. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. 8°. Leipzig, W. Engelmann.

Nr. 175. J. Bernoulli u. L. Euler, Abhandlungen über das Gleichgewicht und die Schwingungen der ebenen elastischen Kurven. 1691, 1694, 1695 u. 1744. Übers. u. hrsg. v. H. Linsenbarth. 126 S. m. 35 Fig. 1910. Geb. 3,60 M. — Nr. 177. C. F. Gauß, Untersuchungen über Gegenstände der höheren Geodäsie. Hrsg. v. J. Frischauf. 111 S. m. 2 Abbildgn. 1910. Geb. 2 M.

W. Nernst u. A. Schoenflies, Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften. Kurzgefaßtes Lehrbuch der Differential- u. Integralrechnung m. besond. Berücksichtigg. der Chemie. 6., verm. u. verb. Aufl. gr. 8°. XII, 442 S. m. 84 Fig. München, R. Oldenbourg 1910. Geb. in Leinw. 14 M.

Zeitschrift für Elektrochemie u. angewandte physikalische Chemie. Hrsg. v. der deutschen Bunsen-Gesellschaft f. angewandte physikalische Chemie (eingetrag. Verein). Generalregister zu Bd. 1—10, Jahrg. 1894—1904. 1. Tl.: Namenverzeichnis. Bearb. v. Prof. Dr. E. Jordis. Lex. 8°. 113 S. Halle, W. Knapp 1910. 11,50 M.

Die Wechselstromtechnik. Hrsg. v. Prof. Dr. E. Arnold. 2., vollständig umgearb. Aufl. In 5 Bdn. gr. 8°. Berlin, J. Springer.

1. Bd.: J. L. la Cour u. O. S. Bragstad, Theorie der Wechselströme. XIII, 922 S. m. 591 Fig. 1910. Geb. in Leinw. 24 M. — 2. Bd.: E. Arnold u. J. L. la Cour, Die Transformatoren. Ihre Theorie, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise. XI, 450 S. m. 443 Fig. u. 6 Taf. 1910. Geb. in Leinw. 16 M.

Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik f. d. J. 1910. Hrsg. v. Dir. Hofr. Prof. Dr. J. M. Eder. 24. Jahrg. 8°. VIII, 767 S. m. 340 Abbildgn. u. 19 Kunstbeilagen. Halle, W. Knapp 1910. 8 M.; geb. in Leinw. 9,50 M.

Chr. Huygens, *Oeuvres complètes. Publiées par la Société Hollandaise des Sciences. Tome XII: Travaux de Mathématiques pures 1652—1656.* gr. 4. VI, 296 S. m. Fig. La Haye 1910. 15 M.

Vols. I—XI: Correspondance 1638—1695; Travaux Mathématiques 1645—1651. Mit Porträts, Taf. u. Fig. 1888—1908. 275 M.

M. Le Blanc, Lehrbuch der Elektrochemie. 5. verm. Aufl. gr. 8°. VIII, 331 S. Leipzig, O. Leiner 1911. 6 M.; geb. 7 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **Mai 1911.** Fünftes Heft.

Zur Theorie lichtstarker Monochromatoren.

Von
G. J. Elias in Haarlem.
(Mitteilung aus dem Bosscha-Laboratorium.)

Monochromatisches Licht von großer Intensität, Homogenität und stetiger Änderungsfähigkeit der Wellenlänge läßt sich in einem größeren Bereich nur dadurch erhalten, daß aus einem Spektrum Abschnitte herausgeblendet und diese als sekundäre Lichtquellen verwendet werden.

Kürzlich wurde ein derartiger Apparat konstruiert[1]), der schon ziemlich hohen Ansprüchen genügt, während ein geradsichtiger Monochromator geringerer Dispersion von du Bois[2]) beschrieben wurde. Für viele Zwecke erscheint es aber wünschenswert, in Zukunft über einen noch lichtstärkeren Apparat verfügen zu können.

Solange die Frage nach der Lichtverteilung im Gitterspektrum noch als ungelöst zu betrachten ist[3]), dürften als Apparate zur Ausblendung eines Spektralbereichs wohl nur solche mit Prismen in Frage kommen, wofern auf Helligkeit besonderer Wert gelegt wird. Eine derartige Anordnung besteht wesentlich aus Kollimator, Prismensystem und Fernrohr.

Ich führe die nachfolgenden Bezeichnungen ein[4]):

b_1, h_1 Breite bezw. Höhe des Eintrittsspaltes,
b_2, h_2 Breite bezw. Höhe des Austrittsspaltes,
f_1, f_2 Brennweite des Kollimators bezw. des Fernrohrs,
R_1, R_2 Radius des Kollimator- bezw. Fernrohr-Objektivs,
Δ Winkeldispersion des Prismensystems,
L totale Lichtmenge,
$K_\lambda\, d\lambda$ Spezifische Lichtintensität im Wellenlängenbereich $d\lambda$,
H_0 Helligkeit bezw. Beleuchtungsstärke des Netzhautbildes,
p_0 Pupillendurchmesser, n_0 mittlerer Brechungsindex, d_0 Abstand Linse — Netzhaut } des Auges,

---

[1]) H. du Bois und G. J. Elias, *diese Zeitschr.* **31.** *S. 79. 1911.*
[2]) H. du Bois, *diese Zeitschr.* **31.** *S. 1. 1911.*
[3]) Vgl. R. W. Wood, *Phil. Mag.* **20.** *S. 770. 1910; Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 1109. 1910.* A. Trowbridge und R. W. Wood, *Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 1161. 1910.* B. Pogány, *Physikal. Zeitschr.* **12.** *S. 279. 1911.*
[4]) Nomenklatur und Bezeichnungen sind auf diesem Gebiete alles andere als einheitlich: vgl. A. Winkelmann. Handbuch der Physik. 2. Aufl. Leipzig 1906. 6. Bd. *S. 236, 747*; P. Drude, Lehrbuch der Optik. 2. Aufl. Leipzig 1906. *S. 72 u. flgde.*

D vorgeschriebenes Öffnungsverhältnis,
$C = \delta\lambda$ Konstante,
α Prismenwinkel,
β Keilwinkel,
n_1 Brechungsindex der Keile,
$n_2 (= n_1 + \nu)$ Brechungsindex der Prismen,
B Breite des Lichtbüschels,
i Austrittswinkel.

Das Bild des Eintrittsspalts in der Brennebene des Fernrohrs wird eine Breite und Höhe haben von

$$b_1' = \frac{f_2}{f_1} b_1 \quad \text{bezw.} \quad h_1' = \frac{f_2}{f_1} h_1 .$$

Ich nehme nun an, daß $h_2 = h_1'$ und ferner $R_1 = R_2 = R$. Wenn $b_1' < b_2$, dann wird für einen gewissen Wellenlängenbereich alles eintretende Licht durch den Austrittsspalt hinausgelangen. Es ist leicht einzusehen, daß dieser Bereich die Breite $b_2 - b_1'$ aufweist oder, ausgedrückt in Wellenlängen,

$$\delta\lambda = \frac{b_2 - b_1'}{\frac{db}{d\lambda}} = \frac{b_2 - b_1'}{f_2 \frac{d\Delta}{d\lambda}} .$$

Die entsprechende in den Apparat eintretende Lichtmenge beträgt, wofern die Kosinus der Strahlenneigungen nicht merklich von der Einheit abweichen,

$$\delta\lambda \frac{h_1 b_1 \cdot \pi R^2}{f_1^2} = K_\lambda \delta\lambda \frac{\pi h_2 b_1' R^2}{f_2^2} = \pi K_\lambda \frac{h_2 b_1' (b_2 - b_1') R^2}{f_2^3 \frac{dJ}{d\lambda}} .$$

Außerdem werden noch Lichtsorten austreten, die nur teilweise vom Austrittsspalt durchgelassen werden; diese liegen innerhalb eines Bereichs von der Breite $b_2 + b_1'$. Von den Wellenlängen, deren Spaltbilder zwischen b und $b + db$ entfernt sind vom Rande des Austrittsspalts, wird eine Lichtmenge durchgelassen, solange $-b_1'/2 < b < +b_1'/2$, und diese beträgt

$$\frac{\pi K_\lambda \left(b + \frac{b_1'}{2}\right) h_2 R^2}{f_2^3 \frac{dJ}{d\lambda}} db .$$

Weil b sich von $-b_1'/2$ bis $+b_1'/2$ ändert und dies an beiden Seiten des Austrittsspalts stattfindet, wird in dieser Weise durchgelassen die Lichtmenge

$$\frac{2\pi K_\lambda h_2 R^2}{f_2^3 \frac{dJ}{d\lambda}} \int_{-\frac{b_1'}{2}}^{+\frac{b_1'}{2}} \left(b + \frac{b_1'}{2}\right) db = \frac{\pi K_\lambda R^2}{f_2^3 \frac{dJ}{d\lambda}} b_1'^2 h_2 .$$

Die totale austretende Lichtmenge beträgt also

$$L = \frac{\pi K_\lambda b_1' b_2 h_2 R^2}{f_2^3 \frac{dJ}{d\lambda}} . \qquad 1)$$

Genau dasselbe Resultat wird erhalten, wenn $b_1' > b_2$ vorausgesetzt wird.

Diese Lichtmenge tritt aus mit einem Öffnungsverhältnis $2R/f_2$. Wenn man schließlich, nachdem das Licht irgend ein optisches System durchsetzt haben mag, auf die Bildebene des Fernrohrobjektivs einstellt, wird es am günstigsten sein, ein Bild des Austrittsspalts auf die Augenpupille zu entwerfen. Es wird erforderlich sein, die Größe dieses Bildes derart zu wählen, daß das Objektiv noch genügend groß

gesehen wird, um die Einzelheiten, worauf es ankommt, gut zu beobachten. Gesetzt, daß ein Öffnungsverhältnis D dieser Bedingung entspricht, so ist dieses als Parameter vorzuschreiben, und es wird die Größe des Netzhautbildes $\pi d_0^2 D^2/4 n_0^2$ sein. Ferner wird, weil das Öffnungsverhältnis der aus dem Monochromator austretenden Strahlen $2R/f_2$ ist, das Bild, welches vom Austrittsspalt auf die Augenpupille entworfen wird, im Verhältnis $2R/f_2 D$ vergrößert erscheinen. Die Breite und Höhe dieses Bildes betragen also

$$b_2' = \frac{2R}{f_2 D} \cdot b_2 \qquad \text{bezw.} \qquad h_2' = \frac{2R}{f_2 D} \cdot h_2 .$$

Weil b_2 wohl immer ziemlich klein sein wird, kann man annehmen, daß b_2' kleiner ist als der Durchmesser p_0 der Augenpupille. Ferner wird es am günstigsten sein, wenn $h_2' = p_0$, woraus folgt $h_2 = \frac{f_2 D}{2R} \cdot p_0$; in diesem Falle wird alles Licht auf die Netzhaut fallen. Wenn dies für h_2 eingesetzt wird, beträgt die Helligkeit des Netzhautbildes

$$H_0 = \frac{2 K_\lambda b_1' b_2 R p_0 n_0^2}{f_2^2 d_0^2 D \cdot \frac{d\Delta}{d\lambda}} .$$

Der Unterschied der äußersten Wellenlängen, welche noch aus dem Austrittsspalt gelangen, beträgt

$$\delta\lambda = \frac{b_1' + b_2}{f_2 \frac{d\Delta}{d\lambda}} .$$

Dieser Unterschied ist also $b_1' + b_2$ proportional, die Helligkeit des Netzhautbildes dagegen $b_1' b_2$. Es ist klar, daß das Produkt $b_1' b_2$, wenn $b_1' + b_2$ bezw. $\delta\lambda$ einen konstanten Wert hat, ein Maximum erreicht für $b_1' = b_2$. Ich werde also voraussetzen, daß diese Bedingung erfüllt ist; auch nehme ich jetzt an $f_1 = f_2 = f$, wodurch $b_1' = b_2 = b$ wird und $h_1 = h_2 = h$. Ferner setze ich $\delta\lambda = C$, einer Konstanten, also

$$\delta\lambda = \frac{2b}{f \frac{d\Delta}{d\lambda}} = C \cdot$$

In dieser Weise wird schließlich erhalten

$$H_0 = \frac{n_0^2 K_\lambda R p_0 C^2}{2 d_0^2 D} \cdot \frac{d\Delta}{d\lambda} . \tag{2}$$

Hieraus kann man folgern, daß bei einem bestimmten Wellenlängenbereich des eintretenden Lichtes und einer bestimmten Größe des Netzhautbildes dessen Helligkeit proportional ist dem Durchmesser des Objektivs und der Winkeldispersion, von dem Öffnungsverhältnis des Lichtbüschels im Apparat aber unabhängig ist.

Für große Helligkeit sind also unter den geschilderten Umständen folgende Bedingungen maßgebend:

1. Hohe Intensität der Lichtquelle. 2. Großer Objektivdurchmesser und entsprechende Prismengröße. 3. Hohe Winkeldispersion des Prismensystems. 4. Möglichst wenig Verluste durch Reflexion und Absorption im Prismensystem.

Diskussion der Helligkeitsbedingungen. In obiger Endgleichung 2) gelten C, D, n_0, d_0 und p_0 als vorgeschriebene konstante Parameter, was innerhalb gewisser Grenzen wohl zulässig erscheint. Variieren doch Abmessungen und Brechungsindex des menschlichen Auges nur wenig; ebenso dürfte das Öffnungsverhältnis D, unter dem die Schattierungen, Kontraste oder sonstige Details eines Gesichtsfeldes gut erkennbar sind, für verschiedene Beobachter mindestens von derselben Größenordnung sein.

Dagegen ist bekanntlich der Pupillendurchmesser p_0 äußerst schwankend; Helligkeit, Akkommodation, Rasse, Alter üben darauf Einfluß. Mittels Blitzlichtphotographie wies Cl. du Bois-Reymond nach, daß die Iris sich bei absoluter Dunkelheit maximal erweitert und sogar hinter der Kornealgrenze verschwinden kann. Auf Grund ihrer Erfahrungen schätzt die Firma C. A. Steinheil Söhne den Maximalwert im Dunkeln praktisch auf etwa 8 *mm*; mit diesem Werte kann man wohl rechnen, da ja die hier vorausgesetzten Beobachtungen stets im Dunkelraume ausgeführt werden.

Der *ersten* der oben aufgestellten vier Forderungen genügt am besten Sonnenlicht (vgl. den Anhang am Schluß), welches den Vorteil der größeren und konstanteren Intensität dem Kraterbilde der Bogenlampe gegenüber aufweist. Gerade die örtlichen Intensitätsschwankungen des letzteren können recht störend wirken.

Zweitens läßt sich die Größe des Objektivdurchmessers und der Prismen nicht allzusehr steigern, weil sonst das genaue Herstellen und Bearbeiten der letzteren unverhältnismäßig schwierig und kostspielig wird und der ganze Apparat zu groß und schwer ausfällt. Der maximale Durchmesser, der sich noch gut verwenden läßt, dürfte im allgemeinen kaum über 70 bis 80 *mm* betragen.

Drittens kann aber die Winkeldispersion des Prismensystems sehr wohl gesteigert werden durch Vergrößerung der Dispersion und der Anzahl der Prismen. Dies wird so ausgeführt werden müssen, daß auch der *vierten* Bedingung möglichst genügt wird.

Als Prismensubstanz bieten Flüssigkeiten manche Vorzüge, einmal der Homogenität und der hohen Dispersion wegen, zweitens ist ihre Absorption für blaues und violettes Licht meist geringer als die des schweren Flintglases, wodurch es möglich wird, die Anzahl der Prismen größer zu wählen. Was ihre Form betrifft, kann man entweder gewöhnliche oder kompensierte Prismen der Rutherford-Wernickeschen Art verwenden. Um möglichst wenig Verluste durch Reflexion zu haben, ist es am besten, das Licht unter dem Polarisationswinkel austreten zu lassen. Dann wird von dem vertikal polarisierten Lichte (angenommen ist, daß die Prismenkanten vertikal stehen) nichts reflektiert werden, sodaß dieses ungeschwächt hindurchgeht, während das horizontal polarisierte bedeutend geschwächt wird. Es läßt sich aber zeigen, daß die maximale Lichtmenge bei Gebrauch mehrerer Prismen nur sehr wenig größer ist als die Lichtmenge, die bei Inzidenz unter dem Polarisationswinkel erhalten wird. Deshalb, und weil es bei sehr vielen Versuchen gerade auf polarisiertes Licht ankommt, sodaß das horizontal polarisierte doch in Wegfall kommen kann, ist es am besten, sich nur auf das vertikal polarisierte zu beschränken.

Bei der Berechnung der Dispersion lege ich ein kompensiertes Prisma zugrunde; hierin ist natürlich das gewöhnliche Prisma als besonderer Fall enthalten. Ich nenne den Winkel des mittleren Prismas α und die Winkel der beiden Keile β, ferner die Brechungsindices der Keile und des mittleren Prismas n_1 bezw. n_2, wobei ich voraussetze $n_2 = n_1 + \nu$, worin ν klein ist im Vergleich zu n_1 und n_2. Wenn die Brechungsindices für zwei Farben einen Unterschied δn_1 bezw. δn_2 aufweisen und vorausgesetzt wird, daß die Inzidenz auf die Keile unter dem Polarisationswinkel stattfindet, während das mittlere Prisma in der Minimumlage durchlaufen wird, dann erhält man nach einer ziemlich langwierigen Rechnung, wobei die zweiten und höheren Potenzen von ν/n_1 und ν/n_2 vernachlässigt werden, für den Winkel der austretenden Strahlen, welche den beiden Farben entsprechen,

$$\delta i = \frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}}\left[n_1 \sin\frac{\alpha}{2}(\delta n_2 - \delta n_1) + \cos\frac{\alpha}{2}\cdot\delta n_1 + \frac{\nu}{n_1}\left\{\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}\sin\frac{\alpha}{2}(\delta n_2 - \delta n_1) - \cos\frac{\alpha}{2}\cdot\delta n_1\right\}\right]. \qquad 3)$$

Der Winkel β ist nicht mehr explizit hierin enthalten, weil dieser bei gegebenem Werte von α_1 eliminiert wird durch die Bedingung, daß die Inzidenz unter dem Polarisationswinkel stattfinden soll. Wird weiter angenommen, daß $\beta = 0$ ist, dann ist auch α bestimmt. In diesem Falle wird aus Gl. 3) erhalten

$$(\delta i)_0 = \delta n_2 \frac{n_1 - \nu}{n_1}, \tag{3a}$$

also für $\nu = 0$ (alle Prismen gleichen Brechungsindex n)

$$(\delta i)_0 = \delta n_2. \tag{4a}$$

Für ein kompensiertes Prisma gilt im letzteren Falle

$$\delta i = n \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} (\delta n_2 - \delta n_1) + \delta n_1. \tag{4}$$

Das Verhältnis von 4) zu 4a) ist

$$\frac{\delta i}{(\delta i)_0} = 1 + \left(n \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - 1\right)\left(1 - \frac{\delta n_1}{\delta n_2}\right).$$

Bei einem kompensierten Prisma wird α möglichst groß genommen werden, wodurch $n \operatorname{tg} \alpha/2$ bedeutend größer als 1 wird; weil auch δn_2 beträchtlich größer als δn_1 gewählt werden kann, wird der Wert von $\delta i/(\delta i)_0$ die Einheit um vieles übertreffen können. Es müssen also n und $\operatorname{tg} \alpha/2$ möglichst groß sein, und δn_1 klein gegenüber δn_2. Aus Gl. 3) und Gl. 3a) folgt dasselbe Ergebnis für den Fall, daß $\nu \neq 0$. Weiter ist auch ersichtlich, daß für den Fall $\nu > 0$ die Dispersion eines kompensierten Prismas größer, eines gewöhnlichen kleiner ist, als wenn $\nu = 0$, immer vorausgesetzt, daß das Licht unter dem Polarisationswinkel einfällt. Um dieselbe Dispersion zu erreichen, braucht man also eine geringere Anzahl kompensierter Prismen als einfache, was aus konstruktiven Gründen von Wichtigkeit ist.

Wenn $\nu \neq 0$ ist, wird ein Lichtverlust stattfinden durch Reflexion innerhalb der Prismen; dieser wird aber sehr gering sein, solange ν klein bleibt. Ein kleiner Wert von ν, der z. B. 0,05 selten übertrifft, läßt sich mit Flüssigkeitsprismen erreichen. Für einen Winkel $\alpha/2 = 60^0$ beträgt die Menge des reflektierten Lichtes nur etwa ein Promille des einfallenden, wenn nur das vertikal polarisierte Licht ins Auge gefaßt wird.

Wenn der Einfallswinkel größer ist als der Polarisationswinkel, wird das vertikal polarisierte Licht durch Reflexion geschwächt; andererseits aber wird die Winkeldispersion und damit die Helligkeit des Netzhautbildes nach Gl. 2) zunehmen. Es läßt sich durch eine ziemlich lange Rechnung zeigen, daß in dieser Weise ein Maximum der Helligkeit erreicht wird. Bei einem einzigen Prisma wird für $n = 1{,}6$, $\alpha/2 = 60^0$, $\delta n_2 = 0{,}035$, $\delta n_1 = 0{,}010$ die maximale Helligkeit, die sich in dieser Weise erreichen läßt, etwa 25 Prozent größer als die bei Inzidenz unter dem Polarisationswinkel, während der Einfallswinkel dann ungefähr 15^0 größer ist als jener. Ist aber die Anzahl Prismen größer, dann läßt sich weit weniger gewinnen, sodaß hierdurch kaum Vorteile erzielt werden; jedenfalls leuchtet es aber doch ein, daß es vorteilhaft sein wird, die Prismenwinkel so zu bemessen, daß der Einfallswinkel nicht für eine mittlere Farbe gleich dem Polarisationswinkel ist, sondern für eine größere Wellenlänge, z. B. für Gelb oder sogar Rot.

Im vorigen habe ich gezeigt, daß die Dispersion der kompensierten Prismen desto größer ist, je größer $\alpha/2$ und $\delta n_2 - \delta n_1$ sind. Den Winkel $\alpha/2$ kann man schwerlich größer als 60^0, höchstens 70^0, wählen, weil sonst das Licht zu sehr streifend

austritt, wodurch an die Prismenflächen sehr hohe Anforderungen gestellt werden, und für kleinere Wellenlängen leicht Totalreflexion eintritt. Um dieser vorzubeugen, wird es gut sein, die Brechungsindices n_1 und n_2 möglichst einander gleich zu wählen. Wenn das innere Prisma aus Glas besteht, ist dies unmöglich; wenn aber irgendeine stark dispergierende Flüssigkeit verwandt wird, läßt sich wohl eine Glassorte finden, die ziemlich denselben Brechungsindex besitzt und zugleich eine geringere Dispersion. Hierfür käme dann ein schweres Baryt-Kronglas oder ein leichtes Flintglas in Frage.

Bei den kompensierten Prismen wird, wenn $\alpha/2$ wächst, die Länge des Lichtweges im Prisma sehr zunehmen. Die Basislänge beträgt $2\,B\operatorname{tg}\alpha/2$, wenn B die Breite des Lichtbüschels im Prisma bedeutet. Für ein kompensiertes Prisma ist das Verhältnis von Dispersion zu Basislänge, wenn $\nu = 0$ ist,

$$\frac{1}{2\,B}\left\{n\,(\delta n_2 - \delta n_1) + \frac{\delta n_1}{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}\right\},$$

dagegen für ein einfaches Prisma $n\,\delta n_2/2\,B$. Weil n immer größer sein wird als $1/\operatorname{tg}\alpha/2$, so ist der erste Ausdruck kleiner als der zweite. In dieser Hinsicht ist ein kompensiertes Prisma also etwas ungünstiger; denn wegen der Absorption und auch aus anderen Gründen (Vignettierung) wird es immer gut sein, den Lichtweg in den Prismen nicht zu sehr zu vergrößern. Weil aber der Unterschied zwischen den beiden Ausdrücken weniger als 10 Prozent beträgt, und andererseits die kompensierten Prismen große Vorteile bieten, so glaube ich nicht, daß dies ein Grund wäre, letztere zu verwerfen. Auch liegen, wenn $\nu \neq 0$ ist, die Verhältnisse für ein kompensiertes Prisma noch etwas günstiger, wie oben dargelegt wurde.

Das Auflösungsvermögen eines kompensierten Prismas für den Fall $\nu = 0$ und bei Inzidenz unter dem Polarisationswinkel wird nach einer kurzen Rechnung gefunden gleich

$$2\,B\left\{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}\left(\frac{dn_2}{d\lambda} - \frac{dn_1}{d\lambda}\right) + \frac{1}{n}\,\frac{dn_1}{d\lambda}\right\}. \qquad 5)$$

Für ein einfaches Prisma beträgt es bekanntlich

$$\frac{2\,B}{n}\,\frac{dn_2}{d\lambda}. \qquad 5a)$$

Bezogen auf dieselbe Basislänge, ist das Auflösungsvermögen eines einfachen Prismas also etwas größer als das eines kompensierten, ebenso wie die Dispersion. Auch hier ist der Sachverhalt für $\nu \neq 0$ etwas günstiger für ein kompensiertes Prisma.

Flüssigkeitsprismen. Wenn der Winkel $\alpha/2$ groß wird, werden sehr hohe Anforderungen an die Prismenflächen gestellt. Bei Verwendung von kompensierten Flüssigkeitsprismen kommen nur die beiden Glaskeile in Betracht; diese dürfen dann nicht auf den Hohlkörper, worin die Flüssigkeit enthalten ist, gekittet werden, weil hierdurch das Glas Spannungen erleiden würde, die auch die Planheit der Flächen beeinträchtigen könnten. Auch das Steinheilsche Verfahren stößt bei größeren Prismen auf Schwierigkeiten. Besser ist es, die Glaskeile mittels ganz leichter Federn festzuhalten und zur Abdichtung eine Quecksilberrinne zu verwenden. Vorläufige Versuche mit derartigen, von der Firma Franz Schmidt & Haensch in Berlin angefertigten Prismen haben gute Resultate ergeben, sodaß es mir nicht ausgeschlossen erscheint, ihre längst bekannten Nachteile den erheblichen Vorzügen gegenüber herabzumindern. Bei Flüssigkeitsprismen ist die richtige Wahl der Flüssigkeit sehr wichtig.

Ein Vorteil ist, daß man innerhalb gewisser Grenzen verschiedene Flüssigkeiten verwenden kann, obzwar das Prismensystem nur für eine bestimmte Flüssigkeit genau berechnet sein kann. Für Arbeiten im Violett wird man eine Flüssigkeit verwenden, die möglichst wenig von den kleineren Wellenlängen absorbiert, wenn auch die Dispersion etwas geringer sein mag, z. B. Schwefelkohlenstoff ($\delta n_{C-F} = 0{,}024$); kommt es dagegen weniger auf das Violett und Blau an, dann kann α-Monobromnaphthalin ($\delta n_{C-F} = 0{,}032$), Phenylsenföl ($\delta n_{C-F} = 0{,}035$) oder sogar Zimtaldehyd ($\delta n_{C-F} = 0{,}042$) gebraucht werden, obwohl letzteres in dickerer Schicht auch schon viel Blau absorbiert. Wird schließlich nur im Rot beobachtet, dann könnte eine gesättigte Lösung von Kaliumquecksilberjodid ($\delta n_{C-F} = 0{,}063$) in Frage kommen, die stark gelb gefärbt ist. Ich habe verschiedene Versuche angestellt, noch höher dispergierende Substanzen zu finden und habe dazu Lösungen von organischen Substanzen in hochdispergierenden Flüssigkeiten verwandt, aber ohne Erfolg.

Eine wichtige Frage bei der Verwendung von Flüssigkeitsprismen ist noch die Konstanterhaltung der Temperatur. Was die Größe des Einflusses einer Temperaturänderung betrifft, findet man aus den oben entwickelten Formeln, wenn $\nu = 0$,

$$\Delta i_1 = n \cdot \Delta n_2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \tag{6}$$

worin Δn_2 die Änderung von n_2 bedeutet und angenommen wird, daß n_1 sich nicht ändert. Weil Δn_2 bei einer bestimmten Temperaturänderung für Flüssigkeiten einen sehr viel größeren Wert hat als für Glas, wird die Änderung Δi_1 ziemlich groß sein können. Weiter kann man aus Gl. 6) folgern, daß die Temperaturänderung bei einem kompensierten Prisma relativ größer ist als bei einem einfachen, bezogen auf gleiche Dispersion. Durch Aufstellung des ganzen Prismensystems in einem Thermostaten mit isolierender Hülle wird es vielleicht möglich sein, diesen Einfluß zu beseitigen, weil doch an die Genauigkeit der absoluten Wellenlängenbestimmungen keine allzu hohen Anforderungen gestellt werden[1]).

Um den Bewegungsmechanismus der Prismen möglichst einfach zu gestalten, bietet es Vorteile, kompensierte Halbprismen in Verbindung mit kompensierten Prismen in der Abbe-Broca-Pellinschen Anordnung zu verwenden, weil dann durch eine einfache Drehung die Minimumstellung erhalten bleibt. Um eine größere Dispersion zu erreichen, kann man den Prismen die doppelte Höhe geben und das Licht erst durch die untere, dann, nach zweimaliger Totalreflexion, durch die obere Hälfte gehen lassen; schließlich kann noch Autokollimation angewandt werden.

Ein weiterer Umstand, der bei der Konstruktion eines Monochromators sehr in Frage kommt, ist, so weit wie möglich, die Vermeidung des zerstreuten Lichtes; nicht nur des weißen Lichtes, welches von verschiedenen Apparatteilen, auch wenn diese mattschwarz lackiert sind, in sehr geringem Maße noch diffus reflektiert wird, sondern auch des Lichtes, welches durch Zerstreuung aus dem Austrittsspalt gelangt. Daß der Einfluß dieses Lichtes von Bedeutung sein kann, werde ich an anderer Stelle darlegen. Am besten wird dieses zerstreute Licht beseitigt, wenn man das Lichtbüschel, nachdem es die halbe Anzahl der Prismen durchlaufen hat, in ein Spektrum vereinigt und hieraus ein Stück, das die gewünschte Breite hat, mittels eines Spaltes ausblendet. Das von diesem Spalte durchgelassene Licht durchsetzt dann die zweite Hälfte des Prismensystems. In dieser Weise kann nur zerstreutes Licht aus einem

[1]) Vgl. H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. Leipzig, S. Hirzel 1900. 1. Bd. *S. 387 u. flgde.*; G. Wernicke, *diese Zeitschr.* **1.** *S. 353. 1881.*

Spektralbereich, welches die doppelte Breite des Austrittsspaltes hat, durch den Austrittsspalt nach außen gelangen. Daher wird die Menge des zerstreuten Lichtes sehr verringert, und außerdem kommt dies jetzt aus ganz unmittelbarer Nähe des untersuchten Lichtes, was meistens weniger schädlich ist.

Weiter wird es vorteilhaft sein, statt der Objektive Hohlspiegel zu verwenden. Weil die Helligkeit nach dem Obigen nicht vom Öffnungsverhältnis abhängt, kann man dieses ziemlich klein wählen, z. B. 1:10 bis 1:15; die sphärische Aberration der Hohlspiegel ist dann zu vernachlässigen. Allerdings wird von Hohlspiegeln etwas mehr Licht zerstreut als von Linsen, aber man vermeidet die störenden Glasreflexe. Auch ist die von einem Silberspiegel gewöhnlicher Politur zerstreute Lichtmenge immer gering; bei einem Öffnungsverhältnis des auf den Spiegel auffallenden Lichtbüschels von etwa 1:40 beträgt sie ungefähr 0,0001 des direkt reflektierten Lichtes, wie ich durch Messung nachwies. Außerdem kann diese Lichtmenge, die dem Öffnungswinkel des auffallenden Lichtbüschels proportional ist, durch die Anwesenheit des eben beschriebenen Spaltes zur Vermeidung des zerstreuten Lichtes noch bis auf einen kleinen Bruchteil verringert werden.

Eine große Brennweite hat dort, wo sie zulässig ist, außer der Verringerung der Abbildungsfehler und der Verminderung der Menge des zerstreuten Lichtes noch weitere Vorteile, nämlich Vergrößerung des Krümmungshalbmessers des Spaltbildes und Verringerung der Vignettierung. Diese letzte Erscheinung wird immer eintreten, wenn Autokollimation angewandt wird, wodurch die Richtungen der beiden Hauptstrahlen einen Winkel bilden, der aber desto kleiner sein wird, je größer die Brennweite ist.

Ein nach den hier entwickelten Grundsätzen zu bauender Monochromator ist bei der Firma Fr. Schmidt & Haensch in Berlin in Arbeit; wegen der Herstellung des Glases, welches äußerst sorgfältig gekühlt werden muß, wird aber die Fertigstellung noch geraume Zeit in Anspruch nehmen.

Anhang.

Die im obigen aufgestellte selbstverständliche erste Forderung einer starken Lichtquelle macht Angaben über die Intensität erwünscht. Es handelt sich hierbei wesentlich um Sonnen- und Bogenlicht; deren „schwarze Temperaturen“ betragen nach neueren Messungen im hellsten Gebiet ungefähr 6600° C. bezw. 3600° C.; man kann etwa sagen, keinenfalls mehr als 7000° bezw. 4000° absolut. Außerdem spielen die Sonnenhöhe, die atmosphärische Absorption und das Reflexionsvermögen des Heliostatspiegels praktisch eine große Rolle. Obwohl Zahlenwerte für alle optischen Arbeiten von Interesse sind, liegen nur einzelne Bestimmungen vor[1]); ich habe daher gelegentlich das Intensitätsverhältnis des Bogen- und Sonnenlichts photometrisch gemessen; naturgemäß kann es sich nur um ungefähre Durchschnittswerte handeln. In beiden Fällen bildete der Eintrittsspalt einen Vertikal-Durchmesser des nahezu kreisrunden, mit der Divergenz 1:4 projizierten Bildes der Lichtquelle. Benutzt wurden Wratten-Wainwreightsche sog. „monochromatische verkittete Filter“ α bis θ und eine für andere Zwecke aufgestellte Photometer-Anordnung.

Folgende Tabelle enthält die Wellenlängen der Filter und das Intensitätsverhältnis an einem Tage mit „unsichtiger“ Witterung und an einem ganz klaren Augusttage.

[1]) E. A. Wülfing, *Neues Jahrb. f. Mineralog., Beil.* **12**. *S. 343. 1898;* C. V. Drysdale, *Journ. de phys.* **8**. *S. 197. 1909.*

W.-W. Filter	Wellenlänge Bereich	Wellenlänge Mittel etwa	Sonne / Bogen 20. 8. 1909	Sonne / Bogen 24. 8. 1909
Dunkelrot α	bis 638	660 μμ	2,8	4,4
Orangerot β	bis 689 und 646–612	630 „	3,7	4,5
Gelb γ	609–584	597 „	4,0	6,4
Grün δ	574–555	565 „	3,4	7,5
Grün ε	542–520	531 „	3,5	7,4
Blau η	504–473	489 „	4,1	6,8
Indigo θ	455–432	444 „	5,1	8,9

An letzterem nahm es also von Rot nach Indigo zu von rund 5 bis 10; es würde an südlicher und höher gelegenen Orten wohl noch größere Werte erreichen. Die Verwendung des Sonnenlichts erscheint nach wie vor vielfach unumgänglich, und es sind Orte mit beträchtlicher Insolationsdauer in dieser Beziehung sehr im Vorteil.

Über ein empfindliches Drehspulgalvanometer von kleinem Widerstande.

Von
H. Zahn in Kiel.

Im Anschluß an die Arbeit von Hrn. Dibbern (*diese Zeitschr.* **31.** *S. 105. 1911*) möchte ich kurz über ein Drehspulgalvanometer[1]) berichten, das ich vor mehreren Jahren bauen ließ; bei der Konstruktion waren mir im wesentlichen die Gesichtspunkte maßgebend, zu denen Hr. Jaeger in seinen diesbezüglichen wertvollen Untersuchungen gelangt war. Inzwischen hat auf Hrn. Jaegers Veranlassung die Firma Siemens & Halske[2]) ein derartiges Instrument von geringem Widerstande hergestellt, das sich durch eine sehr hohe Spannungsempfindlichkeit auszeichnet. Zweifellos steht das nach meinen Angaben gebaute Galvanometer, was Transportsicherheit auf Reisen u. s. w. anbelangt, der Ausführung der genannten Firma nach, welcher Umstand durch die Art der Stromzuführungen bedingt ist. Wenn ich es hier trotzdem beschreibe, so geschieht dies, weil meine Ausführungsform bei nicht unwesentlich kleinerer Schwingungsdauer etwa die doppelte Spannungsempfindlichkeit der des vorstehend genannten Instrumentes besitzt; außerdem ist die Anbringung der Stromzuführungen, deren leichte Zerstörbarkeit der Hauptfehler meines Galvanometers ist, im Falle einer Beschädigung derselben sehr leicht auszuführen.

Das größte Hindernis, ein für kleine äußere Widerstände günstiges Drehspulgalvanometer zu bauen, liegt bekanntlich in der Schwierigkeit, die Widerstände der Zuführungen zur Spule klein zu machen, ohne gleichzeitig die Direktionskraft des Systems zu vergrößern. Wie ungünstig hier die Verhältnisse liegen, wenn als eine Zuführung das Aufhängeband, als andere die übliche untere Spirale verwendet werden, erhellt z. B. aus den Mitteilungen über das Galvanometer von Siemens & Halske,

[1]) Vereinzelte Angaben über dieses Galvanometer finden sich in zwei Arbeiten: H. Zahn und H. Schmidt, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **9.** *S. 100. 1907* und H. Zahn, *Ann. d. Physik* **23.** *S. 137. 1907.* In der zweiten Arbeit ist ein Druckfehler untergelaufen, indem sich die angegebene Empfindlichkeit auf einen Skalenabstand von 3 *m* bezieht.

[2]) W. Jaeger, *diese Zeitschr.* **28.** *S. 206. 1908.*

wo der eigentliche Spulenwiderstand nur etwa 5 % des Klemmenwiderstandes beträgt; andererseits ist die hohe Empfindlichkeit des Boysschen Radiomikrometers, des Duddellschen Thermogalvanometers außer auf die kleine Direktionskraft der Quarzfadenaufhängung großenteils auf das Fehlen dieser nutzlosen Widerstände zurückzuführen. Daß das Vorhandensein dieser Widerstände in manchen Fällen das Einschalten von Vorschaltwiderständen erspart, ist für das Konstruktionsprinzip belanglos; könnte man die Zuführungswiderstände gleich Null machen, so wäre das Galvanometer von Siemens & Halske eben äußerst günstig für einen äußeren Widerstand von 20 Ohm, während man für einen äußeren Widerstand von 10 Ohm vorteilhaft die Windungsfläche der Spule verkleinern würde, wie aus den Konstruktionsformeln[1]) von Hrn. Jaeger hervorgeht.

In dieser Hinsicht sind die Drehspulgalvanometer der Firma Hartmann & Braun entschieden vorteilhafter eingerichtet; die Zuführung zu der Spule[2]) kleinen Widerstandes erfolgt hier durch zwei sehr dünne, halbkreisförmig gebogene Silberbänder, wobei die Stifte, welche die Spulenenden bilden, ziemlich exzentrisch angebracht sind, offenbar, um einen großen Krümmungsradius zu ermöglichen und damit die Direktionskraft der Bänder zu verkleinern. Der Klemmenwiderstand dieser Instrumente ist verhältnismäßig klein, er liegt in der Regel zwischen 4 und 5 Ohm, der zugehörige äußere Grenzwiderstand zwischen 10 und 15 Ohm. Indessen besaßen alle Galvanometer dieser Firma, die ich zu benutzen Gelegenheit hatte, eine unverhältnismäßig große Schwingungsdauer, welche die Instrumente für ballistische Messungen sehr geeignet macht, für andere Zwecke aber leicht als störend empfunden wird.

Bei der Konstruktion eines Galvanometers, dessen ich zu Messungen bei kleinem äußeren Widerstande benötigte, habe ich mir den genannten Vorteil der Type von Hartmann & Braun zunutze zu machen gesucht, unter gleichzeitiger Verminderung der Schwingungsdauer des Systems. Um dabei keine Einbuße an Empfindlichkeit[3]) zu erleiden, mußte die Direktionskraft der Aufhängung möglichst verkleinert werden, gleichzeitig aber auch die Direktionskraft der Zuführungsbänder. Als Zuführungen werden etwa 1,5 *mm* breite, 2 bis 3 *cm* lange Streifen aus dünnster Silberfolie gewählt, die zwischen Seidenpapier geschnitten waren; das Anlöten dieser äußerst leicht zerstörbaren Bänder erfordert einige Übung, es erfolgt am besten mit möglichst leichtflüssigem Lot ohne Anwendung von Lötwasser u. s. w. Sind die Bänder erst gegen Luftzug geschützt, so besteht keine Gefahr des Abreißens bei ruhigem Transport; bei stärkeren Erschütterungen des Instrumentes können sie sich jedoch leicht verschlingen. Der Einfluß zweier derartiger Bänder auf die Direktionskraft des Systems ist äußerst gering, wie durch Schwingungsbeobachtungen bei Aufhängung an einem dünnen Phosphorbronzeband[4]) ($D = 0{,}3$) ermittelt wurde; infolgedessen war auch die Konstanz der Null-Lage des Instruments eine sehr gute.

---

[1]) W. Jaeger, *Ann. d. Physik* **21.** *S. 76. 1906.*

[2]) Soweit mir bekannt ist, besitzen alle Galvanometer dieser Firma zwei Spulen, indem die zweite mit großer Windungsfläche eine Fortsetzung der ersten ist, die ihre andere Stromzuführung durch das Aufhängeband erhält.

[3]) Die Spannungsempfindlichkeit ist $P = \alpha\beta\sqrt{\frac{2\tau}{\pi w D}}$, wo τ die Schwingungsdauer des offenen Instrumentes, D die Direktionskraft, w den äußeren Widerstand bedeutet. Der Faktor $\alpha\beta < 1$ enthält den Einfluß von Dämpfung und Klemmenwiderstand auf die Empfindlichkeit.

[4]) Das besonders dünn gewalzte Aufhängeband war von der Firma Keiser & Schmidt in Berlin geliefert worden.

Im folgenden seien die wichtigsten Dimensionen des Galvanometers mitgeteilt, wie sie nach mehrmaliger Umkonstruktion schließlich gewählt wurden. Die Spule war ohne Rahmen hergestellt, sie besteht aus einer einzigen Lage von 15 Windungen eines 0,29 *mm* dicken, doppelt mit Seide umsponnenen Kupferdrahtes; die nötige Versteifung war durch öfter wiederholtes Schellackieren erreicht. Ihre Länge beträgt 6,6, die Breite 1,55 *cm*, die Windungsfläche somit 153,5 *cm*². Als Halter der Spule, sowie zur Aufnahme des Spiegels dient ein 5 *cm* langer, 0,8 *mm* dicker Kupferdraht, mit dem das eine Spulenende metallisch verbunden war; über die untere Hälfte dieses Halters ist ein dünnes Glasröhrchen geschoben, auf dem das andere Ende des Spulendrahtes befestigt ist. Die Anbringung der Zuführungsbänder erfolgt also hier nahezu zentrisch zur Spulenachse. Das Gewicht des bisher beschriebenen Systems beträgt 1,34 *g*; die Schwierigkeit, ein solch leichtes schmales System genügend zu zentrieren, wurde teilweise dadurch umgangen, daß die Achse noch durch einen übergeschobenen dünnen Bleizylinder beschwert wurde. Das Gewicht des fertigen Systems einschließlich des Spiegelträgers mit einem Spiegel von 1 *cm* Durchmesser beträgt 2,56 *g*. Der Widerstand der Spule allein wurde zu 1,53, mit Zuführungsbändern zu 4,70 Ohm bestimmt. Um ein der verhältnismäßig langen Spule entsprechendes Magnetfeld zu erhalten, wurden zwei Hufeisenmagnete übereinander angeordnet, die durch die üblich geformten Polschuhe zusammengehalten werden. Der Abstand zwischen Polschuhen und innerem Eisenzylinder ist 3 *mm*, die Feldstärke dabei etwa 540 Gauß.

In der nachstehenden Tabelle sind die hauptsächlichsten Galvanometerkonstanten zusammengestellt, zum Vergleich dazu die entsprechenden Werte eines Galvanometers von Siemens & Halske, die einer Mitteilung von Hrn. Jaeger entnommen sind, und die eines von Hartmann & Braun, die ich selbst bestimmt habe.

Tabelle.

Galvanometer	K	D	Δ_0	α	τ
Siemens & Halske	—	0,6	0,69	$0{,}88_5$	5,5
Hartmann & Braun	7,93	1,29	0,10	$0{,}98_4$	7,80
Zahn	0,52	0,29	$0{,}26_4$	$0{,}95_7$	4,20

Galvanometer	w_i	w	β	$P \cdot 10^5$	$\gamma \cdot 10^7$
Siemens & Halske	etwa 9,5	10	$0{,}69_3$	1,47	1,13
Hartmann & Braun	4,35	$8{,}8_5$[1])	$0{,}81_8$	1,68	0,95
Zahn	4,70	$6{,}0_3$[1])	$0{,}75_0$	2,80	0,56

Hierin bedeuten K das Trägheitsmoment, D die Direktionskraft, Δ_0 das Dekrement bei offenem Galvanometer, $\alpha = \sqrt{1 - \sqrt{\frac{\Delta_0^2}{\pi^2 + \Delta_0^2}}}$; τ die Schwingungsdauer des offenen Galvanometers, w_i den Klemmenwiderstand, w den äußeren aperiodischen Grenzwiderstand, $\beta = 1/\sqrt{1 + w_i/w}$; P die Spannungsempfindlichkeit $= \alpha \beta \sqrt{\frac{2\tau}{\pi w D}}$; γ die elektromotorische Kraft in Volt, die bei 3 *m* Skalenabstand einen Ausschlag von 1 *mm* hervorruft. Die beiden von mir angegebenen Werte von γ sind erhalten aus der experimentell bestimmten Stromstärke pro 1 *mm* multipliziert mit $(w_i + w)$.

[1]) Aus den Dekrementen bei verschiedenen äußeren Widerständen abgeleitet.

Aus den Zahlen der Tabelle folgt, daß zwar das Galvanometer von Hartmann & Braun bezüglich des Wertes von β etwas günstiger als das meinige sich verhält, offenbar ist der Widerstand der Zuführungen noch geringer; der etwas höhere Wert von α ist durch die viel größere Schwingungsdauer bedingt. Diesen Nachteilen stehen aber die viel wichtigeren Vorteile der kürzeren Schwingungsdauer und größeren Spannungsempfindlichkeit gegenüber. Auch dem Instrument von Siemens & Halske ist es in seiner Eigenschaft als Galvanometer von kleinem Widerstande wesentlich überlegen; für größere äußere Widerstände bis zu etwa 15 Ohm läßt es sich ebenfalls mit nur wenig verminderter Spannungsempfindlichkeit umkonstruieren. Vielleicht ist es auch nicht ausgeschlossen, seinen Hauptnachteil, die Empfindlichkeit der Zuführungen noch herabzusetzen.

Kiel, Physikalisches Institut der Universität.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1910.

(Fortsetzung von S. 125.)

C. Abteilung II.

I. Präzisionsmechanische Arbeiten[1]).

1. Prüfungs- und Beglaubigungsarbeiten.

Im Berichtsjahre wurden geprüft:

Teilungen auf Stahl, Silber u. s. w.	14
Endmaße	117
Kaliber-Bolzen und -Scheiben	27
Kugeln aus Stahl für Meßzwecke	6
Lochlehre für Zähigkeitsmesser	1
Sphärometerringe	4
Trägheitskörper	2
Thermische Ausdehnung	3
Stimmgabeln f. d. internat. Stimmton	72
„ anderer Tonhöhe	15
Spez. Gewichte von Kupferproben	6
Leitspindeln	15

2. Längenänderungen von gehärtetem Stahl.

Die den Untersuchungen zugrunde gelegten 20 Sätze von Endmaßen von 10, 25, 50 und 100 *mm* Länge sind im November 1910 wiederum nachgemessen worden. Die Längen der überwiegenden Mehrzahl der Versuchskörper sind nunmehr, vier Jahre nach der Herstellung, zum Stillstand gekommen; die noch beobachteten Änderungen an den übrigen halten sich in ganz minimalen Grenzen (Bruchteile eines Mikron). Die Arbeit kann demnach jetzt als abgeschlossen gelten; ihre Ergebnisse sollen demnächst veröffentlicht werden.

Ebenso sind die Temperungsversuche an den 38 Stück Endmaßen von 100 *mm* Länge beendet und durch einige, nachträglich als wünschenswert erkannte Kontrollversuche an zwei in der eigenen Werkstatt hergestellten Körpern aus nicht härtbarem Stahl und Kupfer vervollständigt worden. Außerdem hat sich Gelegenheit geboten, gleichartige Versuche an Körpern aus gehärtetem Stahl von wesentlich anderer Form und anderen Dimensionen, zwei Meßscheiben von 100 und 150 *mm* Durchmesser und 12 bezw. 27 *mm* Dicke, anzustellen, welche die an den Endmaßen gewöhnlicher Form erhaltenen Ergebnisse vollkommen bestätigen und damit den Beweis liefern, daß das erprobte Temperungsverfahren in allen Fällen zu einem

[1]) Leman, Blaschke, Werner.

ausreichenden Erfolge führt. Die bereits für das Berichtsjahr in Aussicht genommene Veröffentlichung über diese Arbeiten hat wegen Rücksichtnahme auf die erwähnten Vervollständigungen noch aufgeschoben werden müssen und soll nunmehr im Zusammenhange mit der oben genannten erfolgen.

3. Thermische Ausdehnung von Metallen bei höheren Temperaturen.

Die im vorjährigen Berichtsjahre begonnenen Versuche zur Ermittelung der relativen Ausdehnung dreier aus einem Kesselblech herausgeschnittener Stäbe sind weiter fortgeführt und abgeschlossen worden. Die Ergebnisse, welche nach teilweiser Änderung der Versuchsanordnung erhalten wurden, stimmen mit den vorher gefundenen, noch nicht ganz befriedigenden, überein, lassen nunmehr aber in bezug auf Zuverlässigkeit nichts mehr zu wünschen übrig. Bei der neu getroffenen Anordnung wurde die relative Ausdehnung des aus der Mitte des Bleches geschnittenen Stabes gegen die beiden anderen unmittelbar, unter Ausschaltung des zuerst als Mittelglied benutzten Stahlrohres, bestimmt. Diese Anordnung hat dann, unter Ersatz einzelner Teile durch Quarzglas, zur Herstellung eines verhältnismäßig einfachen Apparates geführt, mittels dessen die Ausdehnung beliebiger Metalle relativ gegen Quarzglas bis zu Temperaturen von rd. 300° in zuverlässiger und zugleich bequemer Weise ermittelt werden kann. Da das thermische Verhalten des Quarzglases bis zu diesen Temperaturen durch Arbeiten verschiedener Forscher hinreichend sicher bekannt ist, so kann nunmehr auf diesem Wege dem bereits in vielfachen Anfragen hervorgetretenen Bedürfnisse der Technik, die thermische Ausdehnung verschiedener Materialien (bes. Stahlsorten) in höheren Temperaturen zu kennen, entgegengekommen werden.

II. Elektrische Arbeiten.

A. Starkstrom-Laboratorium.

1. Übersicht über die Prüfungsarbeiten[1]).

Die im Jahre 1910 geprüften elektrischen Apparate und Materialien sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

I. Meßapparate.

	Anzahl
a) Mit *Gleichstrom* geprüfte Zeigerapparate für Messung	
der Spannung	32
„ Stromstärke	50
„ Spannung und Stromstärke	13
„ Leistung	51
„ Arbeit (Elektrizitätszähler)	73
b) Mit *Wechselstrom* geprüfte Zeigerapparate für Messung	
der Spannung	9
„ Stromstärke	8[2])
„ Leistung	36
„ Arbeit (Elektrizitätszähler)	142
„ Frequenz	2
c) Sonstige Meßapparate.	
Vorschaltwiderstände	36
Nebenschlußwiderstände (unter Strombelastung)	5
Spannungswandler	12
Stromwandler	44
Normale der Induktivität	6
Induktivität einer Einzelspule	1
Kondensatoren	15
Wellenmesser	13

II. Maschinen, Motoren, Transformatoren.

Maschinen, Motoren, Transformatoren	25
Wirkungsgrad von Webstuhlantrieben	4

[1]) Orlich, Grüneisen, Reichardt, Günther Schulze, Giebe, Schering, Lindemann Schmidt, Rogowski, Liebe, van den Brandeler.

[2]) Davon zwei mit Hochfrequenzströmen.

III. Isolationsmaterialien und Apparate zur Fortleitung und Verteilung elektrischer Energie.

	Anzahl der untersuchten Sorten
Feste Isoliermaterialien	18
Preßspan und Papiere	2
Ausgußmassen	25
Transformatorenöle	2
Isolatoren	17
Kabel und Drahtleitungen, Isolation	15
„ „ „ , Kapazität und Induktivität	6
Schalter	9
Sicherungen	9
Zangen, Stecker, Blitzschutzsicherungen u. a.	4

IV. Sonstiges.

Untersuchung von einer Spule und einem Metallstab mit Hochfrequenzströmen	2 Anträge
Dielektrizitätskonstante	1 Antrag
Elektromagnetische Schienenbremse	1 „
Schwachradioaktive Substanzen	9 Sorten
Hochaktive Präparate	1 Stück

Außerdem wurden die experimentellen Arbeiten für die Systemprüfungen von 9 Zählersystemen sowie 13 Ergänzungsprüfungen abgeschlossen.

2. Neuordnung der Wechselstromverteilung im Hauptgebäude der Abt. II[1].

Da sich die bisherige Versorgung der Laboratorien des Hauptgebäudes der II. Abteilung mit Wechselstrom als unzureichend erwiesen hat, wird eine Neuordnung der Wechselstromverteilung in der Weise vorgenommen, daß jedes Laboratorium eine oder mehrere Verbindungen mit einem Linienwähler erhält, der im Erdgeschoß des Hauptgebäudes aufgestellt und durch vier Kabel mit dem Starkstrom-Laboratorium verbunden wird. Auf diese Weise wird eine größere Mannigfaltigkeit der in den Laboratorien verfügbaren Spannungen und Stromarten erreicht.

Der Linienwähler ist nach demselben Prinzip wie der im Tätigkeitsbericht für das Jahr 1907 (*diese Zeitschr.* **28.** *S. 143. 1908*) beschriebene gebaut, nur besteht er nicht aus einer großen Marmorplatte, sondern wird aus Tafeln von 40 × 40 *cm* Größe zusammengesetzt. Die Tafeln sind nach einer Lehre in der Marmorfabrik gebohrt und werden nach Aufsetzen der ebenfalls nach Schablone hergestellten Messingschienen in ein eisernes Gitterwerk gesetzt. Es sind nur so viel Tafeln hergestellt, als zurzeit notwendig sind; die freien Zellen des Gitterwerks werden vorläufig durch Schwarzbleche abgedeckt. Auf diese Weise ist es möglich, bei eintretendem Bedarf die Anlage nur um so viel zu vergrößern, als gerade notwendig ist. Das Gitterwerk kann in horizontaler Richtung durch Ansetzen von Normalrahmen beträchtlich verlängert werden, sodaß auch Erweiterungen in großem Maßstabe möglich sind. Da alle Teile normalisiert sind, ist die Herstellung der Einsatzplatten leicht und billig auszuführen. Die Zerlegung des Linienwählers in Einzeltafeln hat noch den Vorzug, daß bei einer etwa notwendig werdenden Reparatur nicht der ganze Linienwähler außer Betrieb gesetzt zu werden braucht, sondern die beschädigte Tafel herausgenommen und ausgebessert werden kann.

3. Gleichrichteranlage[2].

Im Februar 1910 wurden 7 von der Westinghouse Co. gelieferte Quecksilberdampf-Gleichrichter für Drehstrom zur Ladung von 120 Volt-Batterien aufgestellt. Die höchste für einen Gleichrichter zulässige Gleichstromstärke betrug 10 Amp.; zur Einhaltung dieser Stromstärke wurden in die Kathodenzuleitung eines jeden Gleichrichters zwei einander parallel geschaltete Eisendrahtvariatoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gelegt; jeder Variator hält unter Abdrosselung von 10 bis 40 Volt die Stromstärke auf 5 Amp. konstant.

---

[1] Schering.
[2] Orlich, G. Schulze, Schering.

So wurde es möglich, mehrere Gleichrichter parallel auf dieselbe Akkumulatoren-Batterie arbeiten zu lassen. Die Gleichrichter sind in zwei Gruppen zu 3 bezw. 4 Stück eingeteilt, um nötigenfalls zwei Batterien verschiedener Spannung zu gleicher Zeit laden zu können. Im allgemeinen sind alle 7 Gleichrichter parallel geschaltet; eine für alle gemeinsame Drosselspule liegt am Sternpunkt des stromliefernden Transformators. Die Variatoren bewirken, daß der Ladestrom lange Zeit unverändert bleibt, wenn die Spannung der Batterie mit zunehmender Ladung ansteigt; zum Schluß der Ladung erlöschen die Gleichrichter, wenn der Spannungsabfall an den Variatoren so klein wird, daß ihre Wirksamkeit aufhört.

Die Ladung geht Tag und Nacht ohne Beaufsichtigung vor sich; die Kosten der in den Variatoren verbrauchten Energie werden daher wettgemacht durch Ersparnisse an Wartung. Solange die Batterien während der Dienstzeit mit Maschinen aufgeladen werden mußten, waren niemals sämtliche Batterien für die Arbeiten zur Verfügung; seit Aufstellung der Gleichrichter, mit denen die Ladung aller Batterien über Nacht bewältigt wird, ist das Ausfallen einer Batterie wegen ungenügender Ladung nicht vorgekommen. Außerdem steht der früher zu Ladezwecken vornehmlich benutzte rotierende Umformer jetzt auch zu anderen Zwecken zur Verfügung.

Von Februar 1910 bis Januar 1911 sind von den 7 Gleichrichtern über 260000 Amperestunden geladen worden. Ein Kolben mußte gleich nach der Inbetriebsetzung umgetauscht werden, die übrigen blieben fast dauernd im Betriebe. Hiernach kommen bis jetzt auf jeden Kolben nahezu 4000 Brennstunden.

4. Prüfung von Transformatorenölen auf Durchschlagspannung[1].

Es wurden Versuche über die günstigste Anordnung zur Prüfung von Transformatorenölen vorgenommen. Als Elektroden wurden Kugeln von 10 *mm* und 15 *mm* Durchmesser und konische Spitzen sowie Stecknadelspitzen benutzt. Bei sehr trockenen und reinen Ölen war die Durchschlagsspannung zwischen Spitzen etwas niedriger als zwischen Kugeln, der Unterschied trat bei kleinen Elektrodenabständen zurück und machte sich erst bei größeren Abständen stärker bemerkbar. Bei feuchten Ölen konnte bisweilen zwischen Spitzen eine höhere Durchschlagspannung als zwischen Kugeln beobachtet werden; namentlich bei Spitzen waren dabei die Werte der Durchschlagspannung oft sehr unregelmäßig. Augenscheinlich spielt das starke elektrische Feld an den Enden der Spitzen dabei eine Rolle; so konnte beobachtet werden, daß, wenn man eine Zeitlang bei weit auseinander gezogenen Elektroden eine hohe Spannung angelegt hatte, die Durchschlagspannung bei einem bestimmten Elektrodenabstand stets viel höher ausfiel, als wenn eine Beanspruchung mit hoher Spannung nicht vorhergegangen war.

Für die Prüfungen werden Kugeln von 10 *mm* Durchmesser benutzt; bei diesen Elektroden ist auch die Messung des Abstandes bequemer und genauer auszuführen als bei Spitzen. Die Versuche werden gelegentlich der Prüfungen fortgesetzt.

5. Prüfung von Ausgußmassen[2].

Die Bestimmung der Durchschlagspannung bei Kabelmassen bietet gewisse Schwierigkeiten hinsichtlich der Versuchsanordnung. Gießt man die Masse auf einer ebenen Metallunterlage aus, und will man die Durchschlagspannung zwischen einer auf die Masse gesetzten Spitze und der Metallunterlage bestimmen, so treten auf der Oberfläche der Masse starke Ladefunken auf, die sich an der Spitze vereinigen, eine Erwärmung der Masse und damit einen verfrühten Durchschlag herbeiführen. Gießt man mit der zu prüfenden Masse eine Metallspitze in ein Metallgefäß ein, so ist die elektrische Beanspruchung abnorm ungünstig; außerdem ist es schwierig, den Abstand der Spitze von dem Gefäßboden zu ermitteln, und es treten leicht Überschläge durch die Luft ein.

Um die Verhältnisse in Kabelmuffen, in denen z. B. die Ausgußmassen gebraucht werden, nachzuahmen, wurden eiserne Rohre von 15 *mm* Weite und 10 *cm* Länge hergestellt, die an den Enden zylindrisch gedrehte Verdickungen trugen (vgl. Fig. 4). Auf letztere wurde ein 40 *cm* langes Papprohr geschoben, sodaß sich das Eisenrohr in der Mitte des Papprohres

[1]) Schering.
[2]) Schering.

befand. Mit zwei Korken wurde in dem Papprohr ein 9 *mm* starker Messingstab konzentrisch befestigt; dann wurde das Rohr senkrecht gestellt und durch eine Öffnung in dem oberen Korken mit der erwärmten Masse vollgegossen. Nach dem Erstarren bildet die Masse eine Isolierschicht von etwa 3 *mm* Dicke zwischen dem Messingstab und dem Eisenrohr. Die mit Masse vollgegossenen Ansätze von Papprohr verhindern, daß bei der Prüfung ein Überschlag von dem Eisenrohr durch die Luft zum Messingstab eintritt. Für jede Prüfung werden etwa vier solche Proben hergestellt. Die an den einzelnen Proben ermittelten Durchschlagspannungen pflegen gut miteinander zu stimmen, woraus hervorgeht, daß die Stäbe genügend konzentrisch in den Rohren sitzen. Nach Beendigung der Versuche werden die Proben im Feuer ausgebrannt und die Metallteile gereinigt. Bei der Herstellung der Proben gewinnt man gleichzeitig ein Urteil über die Vergießbarkeit der Masse.

Fig 4.

6. Einrichtungen zur Prüfung von Maschinen[1]).

Die starke Zunahme der Prüfungsanträge für elektrische Maschinen und Transformatoren erforderte eine Verbesserung der Prüfeinrichtungen. Mit dem Bau von Wirbelstrombremsen und eines Rostes für kleinere Maschinen ist begonnen worden.

7. Absolute Ohmbestimmung[2]).

Die Vorarbeiten zur absoluten Ohmbestimmung erstreckten sich erstens auf Versuche, Selbstinduktionskoeffizienten nach der im vorigen Tätigkeitsbericht (*diese Zeitschr.* **30.** *S. 147. 1910*) beschriebenen Resonanzmethode auf absolut gemessene Kapazitäten zurückzuführen. Zwei Spulen von 1 Henry ergaben, in Reihe geschaltet, als Mittel aus 11 Versuchen bei den Frequenzen 346 und 690 i. d. Sek. die Selbstinduktion

$$L_1 + L_{2\,18^0} = 2{,}00025_6 \text{ Henry (mittl. Fehler der Einzelmessung } {}^{2,2}/_{100\,000}).$$

Einzeln gemessen, gaben die beiden Spulen i. M. aus je zwei Versuchen bei derselben Frequenz von etwa 690 i. d. Sek.

$$L_{1\,18^0} = 1{,}00262_0 \text{ Henry}$$
$$L_{2\,18^0} = 0{,}99761_5 \quad "$$
$$L_1 + L_{2\,18^0} = 2{,}00023_5 \text{ Henry}$$

Auf Grund dieser guten Übereinstimmung ist die Resonanzmethode in erster Linie für die absolute Auswertung der Selbstinduktionsnormale in Aussicht genommen. Natürlich hängt die Übereinstimmung von der hinreichend genauen Kenntnis der Spulenkapazitäten ab, die nach verschiedenen Methoden gemessen wurden. Die daraus entspringenden Korrektionen, die bei der Frequenz 690 zwei bis drei Promille betrugen, sind an obigen Zahlen angebracht.

Zweitens wurden die Vorarbeiten zur Herstellung einer aus den Dimensionen berechenbaren einlagigen Selbstinduktionsspule von 0,01 Henry so weit erledigt, daß die Ausmessung des aus Carrara-Marmor hergestellten Spulenkerns (35,4 *cm* Durchmesser) begonnen werden konnte. Dabei wurden[3]) verschiedene Methoden zur Umfangsbestimmung und Ganghöhenmessung auf ihre Brauchbarkeit geprüft. Ferner wurde festgestellt, daß die Marmorwalze hinsichtlich ihres Isolationsvermögens und ihrer Suszeptibilität den zu stellenden Anforderungen weitaus genügt.

Die elektrische Auswertung der „Ohmspule“ soll durch den sehr genau ausführbaren Vergleich mit größeren, nach der Resonanzmethode absolut meßbaren Selbstinduktionsnormalen geschehen.

8. Selbstinduktionsmessungen mit hochfrequenten Wechselströmen[4]).

Die Untersuchungen über das Verhalten von Selbstinduktionsnormalen gegenüber hochfrequenten Wechselströmen und über die dabei angewandte Meßmethode der Selbst-

[1]) Rogowski, Liebe.

[2]) Grüneisen, Giebe.

[3]) z. T. vom Präzisionsmechanischen Laboratorium (Leman, Werner).

[4]) Giebe.

induktionsvergleichung in der Wheatstoneschen Brückenschaltung sind abgeschlossen. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (Anh. Nr. 27).

9. Große Widerstände und Spannungsteiler für Wechselströme[1].

Um die Kapazität von großen Widerständen möglichst zu beseitigen, wurden sie in zwei Lagen mit entgegengesetzter Windungsrichtung so gewickelt, daß sie auch eine gewisse Selbstinduktion erhalten. Bei geeigneten Abmessungen kann auf diese Weise die innere Kapazität für alle Frequenzen aufgehoben werden. Die Resultate sind veröffentlicht (Anh. Nr. 26); vgl. auch *diese Zeitschr. 31. S. 97. 1911.*

Im Tätigkeitsbericht des Jahres 1909 ist von einem Spannungsteiler berichtet, dessen Einzelwiderstände mit Schutzhüllen umgeben sind, um die Kapazität gegen die Umgebung zu definieren und für die Messung unschädlich zu machen. Es wurde eine Theorie für diese Widerstände aufgestellt, danach ein Spannungsteiler für 20000 Volt Gesamtspannung (1,6 Megohm Widerstand) konstruiert und die Theorie an dem Widerstande erprobt; die Resultate werden demnächst veröffentlicht.

10. Untersuchungen über den Energieverlust in Dielektriken[2].

Es wurde eine Reihe orientierender Versuche an Platten aus festen Isoliermaterialien ausgeführt. Aus etwa 10 Platten und zwischengelegten Kupferfolien wurde ein Versuchskondensator von 0,004 bis 0,01 Mf. Kapazität c_1 aufgebaut (Fig. 5), mit dem in der Brücke ein veränderbarer Luftkondensator c_2 in Reihe mit einem veränderbaren Widerstand ϱ bei verschiedenen Spannungen und Frequenzen des zugeführten Wechselstromes abgeglichen wurde; aus den Werten der Kapazität c_2, des Widerstands ϱ und der Frequenz wird der Winkel berechnet, um den die Phase zwischen Spannung und Strom für den Kondensator c_1 von 90° abweicht. Besondere Aufmerksamkeit mußte den Kapazitäten der Zuleitungen und der Widerstände sowie den Erdkapazitäten zugewandt werden, die ohne besondere Vorsichtsmaßregeln bedeutende Fehler verursachen. Es wurde ein dekadischer Satz Luftkondensatoren von 0,001 bis 0,01 Mf. in Verbindung mit einem Drehkondensator konstruiert, die so aufeinander und auf das die Zuführung enthaltende Gestell gesetzt werden, daß die Kapazitäten der Verbindungen, welche durch Stecker bewirkt werden, herausfallen.

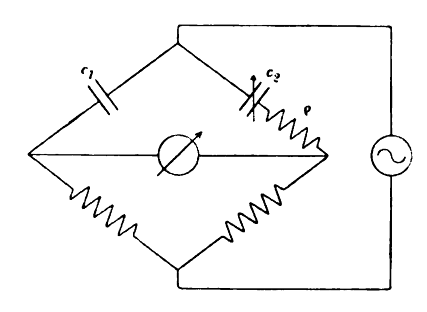


Fig. 5.

Die Versuche erstreckten sich auf das Frequenzbereich 9 bis 2000. Für die niederen Frequenzen wurden Vibrationsgalvanometer nach **Rubens** benutzt; statt des zusammengesetzten Nadelsystems wurde ein 0,15 *mm* dünnes Eisenblech von passenden Abmessungen verwandt; es ließ sich so mit verschieden starken Stahl- oder Manganin-Drähten bequem eine größere Anzahl von Systemen für verschiedene Frequenzen herstellen. Für die Frequenzen 100 bis 2000 wurde ein Vibrationsgalvanometer nach **Duddell** mit zwei stromdurchflossenen Saiten in der Reichsanstalt gebaut, das sich gut bewährt. Ein System, daß zwei Saiten von je 1 *m* Länge enthielt, konnte auf das Frequenzbereich 25 bis 100 einreguliert werden. Diese Anordnung zeichnete sich aus durch vorzügliche Dämpfung und schnelle Regelbarkeit auf die verschiedenen gewünschten Frequenzen.

Aus den bisher angestellten Messungen ergab sich, daß in dem Frequenzbereich 9 bis 2000 die Phasenabweichung bei einzelnen Stoffen von der Frequenz wenig abhängig ist, bei anderen dagegen sich stark mit dieser ändert. Teilweise wurde auch eine Abhängigkeit der Phasenabweichung von der angelegten Spannung beobachtet. Die Versuche werden fortgesetzt.

11. Flüssigkeitswiderstände[3].

Zu den vorstehend bezeichneten Messungen sind kapazitäts- und induktionsfreie Widerstände von hohem Betrage nötig. Es ist in Aussicht genommen, Flüssigkeitswiderstände

---

[1]) Orlich, Hugo Schultze.
[2]) Schering, Schmidt.
[3]) Schering, Schmidt.

zu verwenden. Über die damit erreichbare Genauigkeit wurden Versuche angestellt mit der von Nernst empfohlenen $^2/_3$-normalen Lösung von Mannit (121 *g* pro Liter) und Borsäure (41 *g* pro Liter), die nur einen geringen, durch Zusatz von KCl kompensierbaren Temperaturkoeffizienten der Leitfähigkeit besitzt. Margaret E. Maltby ermittelte die zu dieser Kompensation nötige Menge KCl durch Versuche zu 0,06 *g* pro *l*, rechnerisch aber zu 0,09 *g*; aus dieser Unstimmigkeit folgerte sie eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Substanzen.

Die Untersuchung der Leitfähigkeit der Mannit-Borsäure-Lösung (ohne KCl) in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur ergab, daß diese Beziehung durch eine parabelähnliche Kurve dargestellt wird, deren Scheitel bei 12,5° C. liegt. Setzte man nun diese Kurve mit derjenigen ebenfalls experimentell ermittelten zusammen, welche die Temperaturabhängigkeit einer Lösung von 0,06 g KCl in 1 *l* Wasser darstellt, so ergab sich wieder eine parabelähnliche Kurve, deren Scheitel bei etwa 25,5° C. liegt, die etwas abgeflacht ist. Der Verlauf der so berechneten Kurve stimmt gut überein mit der experimentell gewonnenen Temperaturkurve der $^2/_3$-normalen Lösung von Mannit-Borsäure und 0,06 g KCl. Die von Maltby gefundene Unstimmigkeit zwischen Rechnung und Beobachtung ist darauf zurückzuführen, daß sie die Beziehungen zwischen Leitfähigkeit und Temperatur als lineare Funktionen in Rechnung setzte. Da sich aber herausgestellt hat, daß die Kurve, die diese Beziehung für die Mannit-Borsäure-Lösung darstellt, in dem fraglichen Temperaturgebiet den Scheitel hat, so ergibt sich die Notwendigkeit, auch die Glieder 2. Grades zu berücksichtigen.

Für einen Zusatz von 0,04 *g* KCl pro Liter ergibt die Konstruktion einen Scheitel bei 20,5° C. Zwischen 16° und 25° betragen die Abweichungen vom Scheitelwert nicht mehr als 0,15 %.

Die Konstanz solcher Flüssigkeitswiderstände wird durch Auslösungen aus dem Glase gefährdet.

12. Energieverluste in mehrlagigen Spulen bei schnellen Schwingungen[1]).

Die früheren Versuche über die Widerstandszunahme einlagiger Spulen aus ideal verdrillten Litzen (s. Tätigkeitsbericht für 1909, *diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 148. 1910*) wurden auf mehrlagige Litzenspulen ausgedehnt. Es ergab sich, daß hier außer dem Skineffekt noch eine andere Ursache für die Widerstandszunahme bei steigender Frequenz bestehen muß, sofern die scheinbare Zunahme des Widerstandes, welche die als verlustfrei gedachte Eigenkapazität der Spule hervorruft, berücksichtigt wird. Durch die Annahme dielektrischer Verluste in dem Isolationsmaterial der Spule, welche einem gewissen, durch Messungen an Kabeln und Kondensatoren nahegelegten einfachen Gesetze gehorchen, gelang es, eine Formel abzuleiten, welche die experimentell gefundene Abhängigkeit des Widerstandes von der Frequenz darstellt. Die Resultate sind veröffentlicht (Anh. Nr. 28).

13. Messung starker Ströme hoher Frequenz[2]).

Im Berichtsjahre wurden zum ersten Male Amperemeter für stärkere Hochfrequenzströme (bis zu 40 Amp.) zur Prüfung eingesandt. Zu ihrer Eichung diente ein Hitzdraht-Luftthermometer, bestehend aus einer größeren Zahl parallel geschalteter Manganindrähte von 2,5 *cm* Länge und 0,1 *mm* Durchmesser, welche, den Mantel eines Kreiszylinders bildend, zwischen gekühlten Elektroden ausgespannt waren. Zur Kontrolle wurden einige Versuche nach der von Orlich[3]) vorgeschlagenen optischen Methode der Strommessung mit einem glühenden, im vorliegenden Falle bifilar geführten Platinblech angestellt. Die Übereinstimmung war für den vorliegenden Zweck genügend. Die Versuche sollen fortgesetzt werden.

14. Messung der Widerstandserhöhung kurzer Drähte bei schnellen Schwingungen[4]).

Zur Messung der Widerstandserhöhung kurzer Drähte diente die folgende Methode. Der zu untersuchende Draht von etwa 1 *m* Länge wurde abwechselnd möglichst schnell nacheinander in einen Hochfrequenzkreis der gewünschten Frequenz und in einen Gleichstromkreis eingeschaltet. Dabei konnte mittels eines auf der Mitte des Drahtes aufgelöteten Thermoelementes die Gleich- und Wechselstromstärke so einreguliert werden, daß die Temperaturerhöhung des Drahtes in beiden Fällen die gleiche war. Aus dem gemessenen Ver-

---

[1]) Lindemann.
[2]) Grüneisen, Lindemann.
[3]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* ***24.*** *S. 65. 1904.*
[4]) Lindemann.

hältnis der Gleich- und Wechselstromstärke ergab sich das Verhältnis des Wechselstromwiderstandes zum Gleichstromwiderstande. Um zu erreichen, daß der Draht möglichst schnell die stationäre Temperatur annahm, war dieser in einem mit Wasserstoff gefüllten Glasrohr von 3 *cm* Durchmesser ausgespannt. Ferner mußten zur Vermeidung störender Wärmezufuhr von außen die Enden des Drahtes mit den Anschlußklemmen auf konstanter Temperatur gehalten werden.

15. Streuung von Transformatoren und Drehstrommotoren[1].

Die Versuche über die Streuung von Transformatoren wurden beendet und veröffentlicht (*Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 1033, 1069. 1910*). Die doppelt verkettete Streuung des Drehstrommotors (s. *Elektrotechn. Zeitschr.* **30.** *S. 219, 254. 1909*) wurde zunächst einer theoretischen Betrachtung unterzogen. Für den idealen Motor mit Treppenfeldern und geschlossenen Nuten wurde ihre Schwankung mit der Rotorstellung bestimmt. Beim nicht idealen Motor wurde der Einfluß des Nutenschlitzes und der Zahnsättigung auf ihre Größe untersucht (*Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 1153, 1175. 1910*). Es ist beabsichtigt, die Theorie an einem von den Siemens-Schuckert-Werken in Nürnberg hierzu zur Verfügung gestellten unbewickelten Motor zu prüfen.

16. Meßmethode für den Bremsdruck einer magnetischen Schienenbremse[2].

Ein Prüfungsantrag veranlaßte die Ausarbeitung einer Methode zur Messung des Bremsdruckes einer magnetischen Schienenbremse. Bei dieser Bremse schwebt der Schuh (Elektromagnet). durch Federkraft gehalten, im allgemeinen ein klein wenig über der Schiene und wird beim Einschalten des Stromes auf die Schiene gezogen. Es handelt sich um die Messung des entstehenden Druckes durch einen Abreißversuch. Am einfachsten wäre es, den Schuh durch eine oberhalb desselben angreifende senkrechte Zugkraft abzuziehen und diese Kraft zu messen. Auf diesem Wege ist eine sichere Messung aber niemals zu erzielen, weil der Schuh „kantet". Dies liegt daran, daß die mechanische Abreißkraft und die Resultierende der mechanischen Kräfte magnetischen Ursprungs nicht in einer Geraden liegen. Hier führt auch sorgfältiges Einstellen nicht zum Ziele, da die resultierende Kraft magnetischen Ursprungs ihre Lage von Versuch zu Versuch und wahrscheinlich auch während des Versuchs etwas ändert. Die endgültige Meßanordnung zeigt die Fig. 6. Der Schuh wird zwischen zwei gespreizte Hebelarme eingeklemmt. Im Schnittpunkt greift die an einer Armwage ablesbare Abreißkraft K an. Die Hebelarme stützen sich auf einer Schneide MN auf. Durch passendes Einstellen der Stützen der Schneiden läßt sich mit dieser Anordnung ein „Kanten" des Schuhes mit Sicherheit vermeiden.

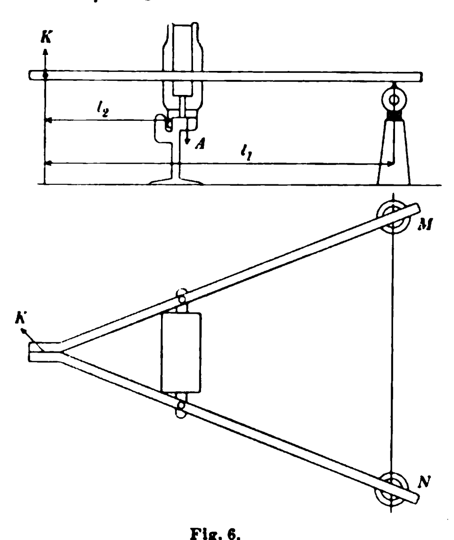


Fig. 6.

Eine ausführliche Veröffentlichung der Methode und Resultate und einer Theorie der Wirkungsweise dieser Bremse ist beabsichtigt.

17. Versuche über Alterung von Sicherungen[3].

Die im vorigen Bericht (*diese Zeitschr.* **30.** *S. 150. 1910*) mitgeteilten Erfahrungen über das Altern von Sicherungen wurden durch Versuche über die Einflüsse der Hochspannung und des Füllmaterials ergänzt. Aus den 0,1 *mm* starken Silberdrähten, bei denen allein die Überlastungsversuche beträchtlichere Änderungen des Widerstandes ergeben hatten, wurden 150 *mm* lange Schmelzdrähte in 15 *mm* weiten und 200 *mm* langen Glasrohren ausgespannt. Die Rohre wurden mit trockenem Sande gefüllt, den die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft und die Siemens-Schuckert-Werke für den Versuch zur Verfügung stellten.

[1]) Rogowski.
[2]) Rogowski (Liebe).
[3]) Orlich, Schering.

Aus der beobachteten „Grenzstromstärke“ von 6 Amp. wurde unter Zugrundelegung der Verhältniszahl 0,65 die „Nennstromstärke“ zu 4 Amp. bestimmt. Bei dieser Stromstärke war das Mittel der Temperaturen längs des Drahtes etwa 230° C. Eine Anzahl dieser Sicherungen wurde mit 4 Amp., andere mit 2 Amp. Wechselstrom von der Frequenz 50 belastet. Um die Glasrohre waren Stanniolbeläge geklebt; bei einem Teil der Sicherungen wurde eine Wechselspannung von 4800 eff. Volt, bei anderen 600 eff. Volt, bei einer dritten Gruppe keine Spannung zwischen die Stanniolbelegung und den Schmelzdraht gelegt. Die Widerstände der Sicherungen wurden von Zeit zu Zeit in kaltem Zustande gemessen.

Die mit 4800 Volt und 4 Amp. beanspruchten Sicherungen zeigten ein schnelles Anwachsen des Widerstandes auf den doppelten Betrag und brannten innerhalb von 10 Tagen durch; bei den mit 4800 Volt und 2 Amp. beanspruchten Sicherungen erfolgte teilweise das Anwachsen des Widerstandes und das Abschmelzen langsamer.

Diese Widerstandszunahme ist wohl auf Zerstäubung des Drahtes zurückzuführen, die unter dem Einfluß der hohen Spannung durch Leitung in der Luft zwischen dem Draht und dem Stanniolbelag entsteht.

Bei den unter 600 Volt stehenden, mit 4 Amp. belasteten Sicherungen nahm der Widerstand im Laufe von 8 Monaten um 10–20 % zu; ein Abschmelzen trat nicht ein. Bei den übrigen Sicherungen war jedoch eine wesentliche Änderung des Widerstandes nicht wahrzunehmen.

Bei Wiederholung der Versuche an Sicherungsdrähten in *ungefüllten* Glasrohren wurden beim Anlegen einer Wechselspannung von 4800 eff. Volt die Schmelzdrähte durch elektrostatische Anziehung in so heftige Vibrationen versetzt, daß sie in wenigen Minuten zerrissen; bei den Sicherungen ohne angelegte Spannung und bei den unter 600 Volt stehenden wurden bei 1 und 2 Amp. Belastung keine wesentlichen Änderungen des Widerstandes beobachtet. Demgegenüber war bei den früheren Versuchen an langen, frei ausgespannten Silberdrähten von 0,1 *mm* Durchmesser bei 2 Amp. Belastung ein Anwachsen des Widerstandes und darauf folgendes Abschmelzen beobachtet worden. Demnach scheinen die Sicherungsdrähte durch Überlastung in abgeschlossenen Röhren weniger korrodiert zu werden, als wenn sie frei in der Luft ausgespannt sind. In letzterem Falle dürfte die durch die aufsteigende Wärme hervorgerufene Luftzirkulation und der infolgedessen reichlich zutretende Sauerstoff eine energischere Oxydation hervorbringen.

18. Elektrolytische Ventilwirkung[1]). Untersuchungen des spezifischen Einflusses der Elektrolyte auf die Maximalspannungen des Tantals, Aluminiums, Antimons und Wismuts ergaben folgendes:

1. Die Maximalspannung ist von der Konzentration der freien Anionen des Elektrolyten und nicht von seiner Gesamtkonzentration abhängig.

2. Die Anwesenheit eines Metalles im Anion bewirkt eine für jedes Metall charakteristische Maximalspannung, die nahezu davon unabhängig zu sein scheint, in welchem Anion sich das Metall befindet, und die bei den meisten Metallen wesentlich niedriger liegt als die Maximalspannung der nichtmetallischen Anionen. Die niedrigste Maximalspannung haben palladiumhaltige Anionen. Sie beträgt in 0,05 ionennormaler Lösung 20 Volt, während das Anion AlO_2 bei der gleichen Konzentration die höchste Maximalspannung von 660 Volt besitzt.

3. Die Maximalspannung der Anionen, die kein Metall enthalten, liegt in 0,05-normaler Lösung zwischen 440 und 500 Volt.

4. Die Maximalspannung nimmt mit wachsender Ionenkonzentration in fast allen Elektrolyten in nahezu gleicher Weise ab, und zwar um etwa 0,24 %, wenn die Ionenkonzentration um 1 % wächst.

5. Diejenigen Metalle, welche durch den Eintritt in das Anion eine niedrige Maximalspannung hervorrufen, tun dieses auch als kationische Bestandteile eines nichtdissoziierten Moleküls.

6. Vom freien Kation ist die Maximalspannung unabhängig.

---

[1]) G. Schulze.

7. Bei Aluminium, Wismut und Antimon ist zu unterscheiden zwischen wahrer Maximalspannung, die in denjenigen Elektrolyten eintritt, in denen die Ventilmetalle nicht merklich löslich sind, und scheinbarer Maximalspannung, die vorliegt, wenn die Ventilmetalle vom Elektrolyten merklich gelöst werden.

8. Die wahre Maximalspannung scheint für die vier Ventilmetalle Ta, Al, Sb, Bi in gleichen Elektrolyten nahezu gleich zu sein.

9. Die scheinbare Maximalspannung bleibt hinter der wahren um so weiter zurück, je löslicher das Ventilmetall ist.

B. Schwachstrom-Laboratorium[1]. *1. Laufende Prüfungsarbeiten.*

Im Jahre 1910 wurden geprüft

12 Proben Leitungsmaterial (7 Anträge);
20 Proben Widerstandsmaterial (3 Anträge);
161 Einzelwiderstände;
23 Widerstandssätze mit zusammen 557 Abteilungen (2 Kompensatoren mit hohem, 1 Kompensator mit niedrigem Widerstand, 1 Meßbrücke, 17 Widerstandssätze, 2 Verzweigungsbüchsen);
4 verschiedene Prüfungen;
28 Clarksche Normalelemente;
19 Westonsche Normalelemente (mit Überschuß an Kadmiumsulfat-Kristallen);
101 Elemente der Weston Co. (mit bei 4° C. gesättigter Lösung);
56 Trockenelemente (12 Anträge).

2. Leitungsmaterial.

Die zahlreichen im Laufe der Jahre im Schwachstrom-Laboratorium ausgeführten Untersuchungen über die Leitfähigkeit eingesandter Kupferproben hatten schon lange gezeigt, daß mit großer Annäherung Proportionalität zwischen dem Temperaturkoeffizienten und der elektrischen Leitfähigkeit besteht, daß also z. B. nahe gilt $\alpha_{15} \cdot c_{15} =$ konst. (α_{15} Temp.-Koeffizient, c_{15} spez. Widerstand in Ohm m/mm^2 bei 15° C.). Als Mittelwert aller seit 1905 in der Reichsanstalt geprüften Kupfersorten ergibt sich für die Konstante die Zahl $6{,}7_8 \cdot 10^{-5}$. Dieselbe Beziehung scheint auch — natürlich mit anderen Werten der Konstanten — für Aluminium und Eisen zu gelten.

Im Laufe einer Untersuchung über die Leitfähigkeit reinerer Kupfersorten ist eine ganz ähnliche Beziehung im *Bureau of Standards* in Washington von Dellinger gefunden und zuerst veröffentlicht worden (*Journ. of the Franklin Institute, Sept. 1910*). Die dortigen Untersuchungen über den Temperatureinfluß ergaben, daß sich zwischen 10° und 100° C. der Widerstand von Kupfer linear mit der Temperatur ändert; innerhalb dieses Intervalls gilt also nahe $a_t \cdot c_t = 6{,}7_8 \cdot 10^{-5}$.

Eine Mitteilung der Reichsanstalt über diesen Gegenstand ist kürzlich erschienen (Anh. Nr. 34). In einer Notiz (*Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* ***13.*** *S. 281. 1911*) wurde der Hinweis darauf nachgeholt, daß die Priorität für die Aufstellung einer gesetzmäßigen Beziehung zwischen dem Temperaturkoeffizienten und der Leitfähigkeit von Metallen, die sehr geringe Verunreinigungen enthalten, Matthießen und Vogt zukommt (*Pogg. Ann.* ***122.*** *S. 61. 1864*).

3. Widerstände

Von den geprüften Einzelwiderständen waren 108 Draht- und 53 Blechwiderstände, mit einer Ausnahme sämtlich aus Manganin. Für 153 Widerstände und Widerstandssätze lagen Angaben über den Besteller bezw. Eigentümer vor. Danach waren 96 für das Ausland bestimmt, und zwar für Japan 49, für die Vereinigten Staaten von Nordamerika 30, für die Niederlande 8 Stück, die übrigen für Australien, Dänemark, England und Italien.

Für die verschiedenen Laboratorien der Reichsanstalt wurden 18 Einzelwiderstände und 4 Widerstandssätze mit 236 Abteilungen untersucht, ferner 1 Telephon-Meßbrücke und 2 Stäbe auf Leitfähigkeit.

4. Normalelemente.

Bei den geprüften Clark-Elementen, deren Zahl gegen das Vorjahr wiederum zurückgegangen ist, lag die Abweichung vom Sollwert (1,4328 Volt bei 15° C.)

[1] Lindeck.

bei 15 Stück zwischen 0,0000 und 0,0004 Volt,
„ 12 „ „ 0,0004 „ 0,0007 „ ,
„ 1 „ „ 0,0007 „ 0,0010 „ .

Bei den Westonschen Normalelementen (mit Überschuß an Kadmiumsulfat-Kristallen) waren die Unterschiede gegen den Normalwert (1,0186 intern. Volt bei 20° C.) bei sämtlichen Elementen bis auf eines kleiner als ± 0,0001 Volt.

Die Prüfung der von der Weston Co. hergestellten Elemente mit bei 4° C. gesättigter Kadmiumsulfat-Lösung ergab (bei Zimmertemperatur) die folgenden Werte:

bei 1 Stück 1,0189 Volt,
„ 34 „ 1,0190 „ ,
„ 51 „ 1,0191 „ ,
„ 14 „ 1,0192 „ ;
1 „ gab veränderliche Werte.

Vom 1. Januar 1911 an wird den Prüfungen nicht mehr der Wert 1,0186, sondern der international vereinbarte Wert 1,0183 intern. Volt für die elektromotorische Kraft des Westonschen Normalelements bei 20° zugrunde gelegt (vgl. *S. 113*).

Als Temperaturformel wird vom gleichen Datum ab die von der Internationalen Konferenz in London empfohlene Formel des *Bureau of Standards* benutzt:

$$E_t = E_{20} - 0{,}0000406\,(t-20) - 0{,}00000095\,(t-20)^2 + 0{,}00000001\,(t-20)^3 \text{ Volt.}$$

In dem für Laboratorien hauptsächlich in Betracht kommenden Temperaturintervall stimmt die bisher benutzte Temperaturformel von Jaeger und Wachsmuth

$$E_t = E_{20} - 0{,}000038\,(t-20) - 0{,}00000065\,(t-20)^2 \text{ Volt}$$

mit der neuen Formel gut überein.

Auf den Prüfungsscheinen wird eine Korrektions-Tabelle für die Temperaturen zwischen 10° und 25° C. mitgeteilt, was für alle praktischen Zwecke ausreichen dürfte. Insbesondere liegt keine Veranlassung vor, das Element bei 0° zu gebrauchen, wie dies wohl mit dem Clark-Element geschehen ist, um, seines hohen Temperaturkoeffizienten wegen, eine genau definierte und leicht herstellbare konstante Temperatur zu haben. Es ist sogar nach neueren Beobachtungen von Cohen und Smith nicht ausgeschlossen, daß in Temperaturen unter 10° bis 12° C. das 12,5-prozentige Kadmium-Amalgam geringe Störungen zeigen kann.

5. Nachprüfung f. d. Elektr. Prüfämter.

Außer den Kontrollnormalen (42 Einzelwiderständen und 14 Normalelementen) wurden für die Prüfämter 9 Widerstandssätze mit 280 Abteilungen geprüft.

6. Änderungen von Drahtwiderständen mit der Luftfeuchtigkeit.

Der im vorigen Bericht erwähnte Schrank für konstante Feuchtigkeit ist im Mai 1910 in Benutzung genommen worden. Er dient zur Aufbewahrung von 21 Draht-Normalen von 1 bis 100000 Ohm bei 50 % Feuchtigkeit und hat sich gut bewährt. Infolge der Wärme-Isolierung mit Korkplatten sind auch die Temperaturschwankungen im Innern des Schranks viel geringer als im Laboratorium. Es war auf diese Weise möglich, eine große Zahl von Widerstandsnormalen ohne jede konstruktive Änderung an denselben dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit zu entziehen.

Auch an Widerständen, bei denen dasselbe Ziel nach dem Vorschlag des *Bureau of Standards* durch hermetischen Abschluß erreicht wird, sind im Berichtsjahr zahlreiche Messungen angestellt worden.

Hierzu dienten 4 von der Firma O. Wolff in Berlin zur Verfügung gestellte Büchsen von 1000 Ohm, die in der Reichsanstalt gefüllt wurden, und zwar 2 Stück mit Paraffinöl und 2 mit Petroleum; die Flüssigkeiten sowohl wie die Widerstandsspulen waren vor dem Füllen etwa einen Monat in einer Atmosphäre von 50% Feuchtigkeit aufbewahrt worden, damit bei etwa eintretenden geringen Undichtigkeiten des Verschlusses die Tendenz zu Widerstandsänderungen möglichst klein sein solle.

Die nachstehende Tabelle enthält die seit Dezember 1909 an diesen Büchsen angestellten Messungen. Die Beobachtungen vom 20. XII. 09 sind *vor* dem Füllen und Zusammenschrauben der Büchsen gemacht, das am 21. XII. stattfand.

Tabelle.

Datum	Büchsen mit Paraffinöl		Büchsen mit Petroleum	
	Nr. 4089	Nr. 4091	Nr. 4088	Nr. 4090
1909				
20. XII.	1000,055	1000,049	1000,111	1000,079
30. XII.	55	48	112	83
1910				
11. I.	57	50	116	88
24. II.	57	50	117	91
9. III.	57	52	120	96
21. IV.	—	57	128	103
1. VII.	54	53*	132	100
3. IX.	54	54	136	99
21. XI.	58	57	142	103
1911				
4. II.	56	56	141	101

Die beiden Büchsen mit Paraffinöl-Füllung sind recht konstant geblieben. Büchse Nr. 4089 ist bei den Messungen in Washington (vgl. *S. 120*) benutzt worden. Die mit Petroleum gefüllten Büchsen zeigen eine etwas geringere Konstanz; der Grund hierfür muß durch weitere Beobachtungen aufgeklärt werden.

Sowohl die Methode des *Bureau of Standards* zur Vermeidung des Einflusses der wechselnden Luftfeuchtigkeit als diejenige der Reichsanstalt bedingen eine etwas geringere Bequemlichkeit in der Benutzung der Einzelwiderstände; zudem sind beide auf die Spulen von Widerstandskästen nicht leicht anwendbar. Die letzteren werden deshalb zurzeit mit einer dünnen Paraffinschicht nach dem Vorschlag des *Bureau of Standards* überzogen, die aber nicht vollständig zu schützen scheint.

Das Ideale wäre, wenn man, ohne an der Konstruktion und dem Herstellungsverfahren der Drahtwiderstände nach dem Modell der Reichsanstalt etwas zu ändern, einen für Feuchtigkeit undurchlässigen, in Petroleum unlöslichen Überzug finden könnte. Aussichtsreiche Versuche nach dieser Richtung sind im Berichtsjahr unternommen worden, nachdem ein von M. U. Schoop in Zürich erfundenes Verfahren, irgendwelche Gegenstände mit einer Metallschicht zu überziehen, bekannt geworden war. Das Verfahren besteht darin, geschmolzene Metalle in einer Art Zerstäuber unter großem Druck aus einer Düse herauszublasen, wobei das Metall eine außerordentlich feine, nebelförmige Verteilung annimmt und sich auf den in den Weg des Strahls gestellten Gegenständen niederschlägt.

Ein auf einer fertig justierten, in der üblichen Weise mit Schellack überzogenen Spule von 1000 Ohm von Hrn. Schoop hergestellter Zinn-Überzug von etwa 0,04 *mm* Dicke erwies sich als noch nicht ausreichend, dagegen gaben Schichten von 0,1 bis 0,15 *mm* Stärke schon einen recht guten Schutz; zurzeit werden Versuche an Spulen mit noch dickeren Überzügen angestellt.

C. Referat für die Elektrischen Prüfämter[1]).

1. Prüfamt Barmen.

Durch Verfügung des Reichskanzlers vom 21. September 1910 ist dem Magistrate der Stadt Barmen für das dortige städtische Elektrizitätswerk die Befugnis zur Errichtung eines Elektrischen Prüfamts erteilt worden.

2. Normativbestimmungen.

Die im vorjährigen Berichte erwähnten Verhandlungen über Normativbestimmungen für kommunale Prüfämter haben dazu geführt, den Satzungen für das neue Prüfamt eine Fassung zu geben, durch welche dem Vorsteher eine seiner Vorbildung entsprechende Stellung und dem Amte eine erfolgreichere Tätigkeit gesichert sein soll. Die wesentlichste

[1]) Feußner.

Bestimmung ist, daß die Neuprüfung, Nachprüfung und Wartung der sämtlichen von der betreffenden Stadtverwaltung gebrauchten Zähler dem Prüfamte ein für allemal übertragen werden soll.

3. Erweiterung der Prüfungsbefugnisse.

Fünf Elektrische Prüfämter haben in einer Eingabe an das Reichsamt des Inneren vom 28. Februar 1910 eine Erweiterung ihrer Prüfungsbefugnis und Änderungen ihrer Organisation beantragt. Die Reichsanstalt hat diesen Antrag im wesentlichen befürwortet und mit Genehmigung des Hrn. Staatssekretärs des Inneren die Prüfamtsvorsteher zu einer Beratung darüber eingeladen, welche Ende März d. J. in Charlottenburg stattgefunden hat.

4. Leitsätze für Systemprüfungen.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker hat im September v. J. Leitsätze für die Systemprüfung von Elektrizitätszählern aufgestellt und der Reichsanstalt eingereicht. Diese Leitsätze stimmen in vielen Stücken mit dem im Jahre 1904 von der Reichsanstalt versandten Entwurfe von Regeln für die Einrichtung der zur Beglaubigung bestimmten Elektrizitätszähler-Systeme überein, welche eine Ergänzung des § 11 der Prüfordnung für elektrische Meßgeräte vom Jahre 1902 bilden sollten.* Sie gehen aber über eine Ergänzung der Prüfordnung hinaus und enthalten in verschiedener Richtung Änderungsvorschläge zur Prüfordnung sowohl wie auch zu den Ausführungsbestimmungen des Gesetzes betreffend die elektrischen Maßeinheiten. Die Leitsätze sind auf der erwähnten Konferenz der Prüfämter zunächst einer Beratung unterzogen worden.

5. Systemprüfungen.

Im Berichtsjahre sind 20 Systemprüfungen angemeldet, 19 Anträge zugelassen, 1 zurückgezogen und 2 abgelehnt worden. 12 Bekanntmachungen über Prüfungen und Beglaubigungen durch die Elektrischen Prüfämter sind herausgegeben worden, welche die Nummern 47 bis 58 tragen. Durch diese sind die folgenden Systeme neu zugelassen worden:

System [51]: *Magnetmotorzähler für Gleichstrom*, Form CR, hergestellt von den Isaria-Zähler-Werken in München.

" [52]: *Magnetmotorzähler für Gleichstrom*, Form EC, hergestellt von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin.

" [53]: *Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom*, Form WE und

" [54]: *Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom bei induktionsfreier Belastung*, Form TG und WG, der Isaria-Zählerwerke in München.

" [55]: *Quecksilber-Motorzähler für Gleichstrom*, Formen O und S, der Solar-Zähler-Werke in Hamburg.

" [56]: *Motorzähler für Gleichstrom*, Form EK und EKA, der Felten & Guilleaume-Lahmeyer-Werke in Frankfurt a. M.

" [57]: *Induktionszähler für Vierleiterdrehstrom*, Form D5 und D5n, und

" [58]: *Induktionszähler für Dreileiter-Drehstrom*, Form D6, beide hergestellt von den Siemens-Schuckert-Werken in Berlin.

" [59]: *Induktionszähler für Wechselstrom*, Form WF, und für *Drehstrom mit gleichbelasteten Zweigen*, Form DGFn, der Felten & Guilleaume-Lahmeyer-Werke in Frankfurt a. M.

" [60]: *Induktionszähler für Drehstrom*, Form DUF, der Felten & Guilleaume-Lahmeyer-Werke in Frankfurt a. M.

Ferner wurden noch dem System [14] die Ausführungsform ZG, dem System [24] die Form CE, dem System [27] die Formen LIa, LMa und LOa, dem System [31] die Form TDS2 dem System [40] die Formen BE und BS und dem System [43] die Formen G5 und G6 eingereiht.

Über die Tätigkeit der Elektrischen Prüfämter gibt die folgende Tafel eine Übersicht. *G. Die Elektrischen Prüfämter.*

Prüfämter:	Ilmenau	Hamburg	München	Nürnberg	Chemnitz	Frankf. a. M.	Bremen
Art der geprüften:	Anzahl der geprüften Gegenstände:						
a) Zähler							
mit Beglaubigungsstempel versehen	204	256	9130	328	31	2230	913
mit Verkehrsstempel versehen	143	148	1800	84	4	2113	570
unzulässig befunden	63	29	7	2	1	124	213
Zusammen	410	433	10937	414	36	4467	1696
davon nachgeeicht	35	337	—	10	11	1179	470
davon ausgebessert	13	125	2792	10	11	261	22
Zählerprüfungen im ganzen	—	—	15201[1])	—	71[2])	—	—
b) Tarifuhren, Zeitzähler u. andere Tarifapparate	—	—	439	—	—	559	14
c) Strom-, Spannungs- u. Leistungsmesser und andere Meßgeräte	7	21	205	8	28	59	61
d) Elektrische Gebrauchsgegenstände	—	55	130	—	29	63	2

Meßapparate wurden in diesem Jahr zur Prüfung nicht eingesandt.

D. Magnetisches Laboratorium[3]). 1. Übersicht über die Prüfungsarbeiten.

Die Anzahl der Prüfungen von *Materialien* betrug

für unmagnetisches Material (Nickelstahl) 30
„ Stahlguß, Gußeisen u. s. w. 52
„ Hufeisenmagnete 13
„ Dynamoblech 64

und zwar wurden 36 von den letzteren Proben statisch, 28 wattmetrisch untersucht. Für 6 Proben wurden auch die Sättigungswerte nach der Isthmusmethode bestimmt.

2. Verbesserung der Untersuchungsmethoden für magnetische Materialien.

Die im letzten Tätigkeitsbericht erwähnten Versuche über die direkte Bestimmung der zu einer gemessenen Induktion gehörigen Feldstärke im Joch und im Epstein-Apparat nach dem Prinzip, das auch den Isthmusmessungen zugrunde liegt, sind noch nicht abgeschlossen. Es hat sich gezeigt, daß die Messungen im Joch bei niedrigen Feldstärken wahrscheinlich durch die Wirkung benachbarter Jochteile erhebliche Störungen erleiden, sodaß die Methode nur auf höhere Feldstärken beschränkt bleiben müßte. Dagegen ergaben die mit dem Epstein-Apparat ausgeführten Vorversuche nach dieser Richtung hin wesentlich günstigere Resultate, sodaß es voraussichtlich gelingen wird, mit den zur wattmetrischen Messung der Eisenverluste dienenden Probebündeln auch die Permeabilität hinreichend genau zu bestimmen. Dies würde in verschiedener Hinsicht vorteilhaft sein: einmal könnte der gleiche Apparat und die gleiche Probe für beide Messungen benützt werden, was Zeit und Kosten ersparen würde; sodann würden gleichzeitig größere Mengen von Material zur Untersuchung verwendet und damit ein besserer Mittelwert gewonnen werden; endlich fiele die Unsicherheit

[1]) Die Zähler, welche zur Untersuchung in das Amt kommen, werden zuerst nachgeprüft, ohne gestempelt zu werden, dann der Reparaturwerkstätte zur mechanischen Kontrolle und etwaigen Ausbesserung überwiesen und danach nachgeeicht, geprüft und gestempelt.

[2]) Die Zähler, welche am Verwendungsort nur für eine Belastung geprüft werden konnten oder nicht für die Verrechnung der Vergütung bestimmt waren, sind nicht gestempelt worden.

[3]) Gumlich, Schmiedel.

wegen der durch das Ausschneiden bewirkten Härtung weg, welche die für den Koepsel-Apparat oder für die ballistische Joch-Messung bisher notwendigen schmalen Streifen erfahren. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft hat bei diesen für die Technik wichtigen Versuchen ihre Hilfe in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt und auch bereits einen von der Reichsanstalt entworfenen Apparat ausführen lassen, mit welchem demnächst eingehende Versuche angestellt werden sollen.

Die Messung der Verlustziffer für die Induktion $\mathfrak{B} = 15000$, welche im letzten Jahre vom Verband Deutscher Elektrotechniker in die neuen Normalien zur Prüfung von Eisenblech aufgenommen wurde, hat nach Einführung einer besonderen Sekundärspule zur Messung der Spannung keine besonderen Schwierigkeiten verursacht, wenn auch die erreichbare Genauigkeit selbstverständlich geringer bleibt, als bei $\mathfrak{B} = 10000$.

Auf Antrag des *National Physical Laboratory* zu Teddington wurde für 5 verschiedene Dynamoblechsorten, welche dort nach einem etwas abweichenden Verfahren geprüft worden waren, auch in der Reichsanstalt sowohl der gesamte Wattverlust als auch der Hystereseverlust für $\mathfrak{B} = 10000$ bestimmt. Es hat sich ergeben, daß die in der Reichsanstalt ermittelten Werte im Durchschnitt etwa 3—4 % tiefer liegen als die dortigen Werte. Der Grund für diese systematische Abweichung ist noch nicht gefunden; vielleicht spielt hierbei indirekt der Einfluß der Walzrichtung eine Rolle (vgl. *5.*); es ist aber auch nicht ausgeschlossen, daß die Streuungskorrektion wegen der Ecken- und Stoßfugen beim Epstein-Apparat und ähnlichen Anordnungen noch einer Verbesserung bedarf. Um dies zu untersuchen, wurden aus zwei verschiedenen Blechsorten viereckige Blechrahmen von 50 *cm* Seitenlänge und 3 *cm* Breite hergestellt und mit Primär- und Sekundärwickelung versehen. Dieselben werden statisch und wattmetrisch untersucht, sodann durch Schnitte in vier Bündel von den Dimensionen der Epstein-Streifen zerlegt, von neuem untersucht und endlich nach Beseitigung der direkten Bewickelung auch im Epstein-Apparat gemessen. Es wird sich auf diese Weise zunächst der Einfluß der Stoßfugen und des Zwischenraumes zwischen Magnetisierungsspule und Eisenkern beim Epstein Apparat feststellen lassen. Gleichzeitig gewinnt man, da aus dem Innern der Blechvierecke auch Ringe ausgestanzt und bewickelt wurden, noch einige Werte für die Beziehung zwischen Ring und Epstein-Apparat, die wegen der Unsicherheit dieser Beziehung infolge der Ungleichmäßigkeit des Materials (vgl. auch *5.*) erwünscht sind.

3. Einfluſs der chemischen Zusammensetzung und thermischen Behandlung auf die magnetischen und elektrischen Eigenschaften der Eisenlegierungen.

Die Messungen an 15 verschiedenen Kohlenstofflegierungen wurden sowohl nach langsamem Abkühlen als auch nach plötzlichem Abschrecken bei 750°, 800° und 850° durchgeführt. Bei der Härtung hat sich der im letzten Bericht erwähnte, kippbare Ofen, welcher gestattet, die Stäbe innerhalb einer Sekunde aus der vollen Hitze in die Kühlflüssigkeit (Eiswasser) fallen zu lassen, gut bewährt. Die Messungen, welche auch auf die Sättigungswerte, die Anfangspermeabilität, das elektrische Leitvermögen, den Temperaturkoeffizienten des letzteren, die Lage der Umwandlungspunkte u. s. w. ausgedehnt wurden, sind noch nicht abgeschlossen, versprechen aber nicht nur über den Kohlenstoffgehalt weicher Materialien als Verunreinigung, sondern namentlich auch über den Einfluß des Kohlenstoffes bei permanenten Magneten, die günstigste Härtungstemperatur, die Haltbarkeit gegen Erschütterungen u. s. w. interessante Aufschlüsse, über welche späterhin besonders berichtet werden soll.

4. Anfangspermeabilität.

Die Ausarbeitung einer Methode zur Bestimmung der Permeabilität von Stäben von 0,6 *cm* Durchmesser und 18 bis 35 *cm* Länge für Feldstärken von etwa $\mathfrak{H} = 0{,}008$ bis zu $\mathfrak{H} = 0{,}2$ ist abgeschlossen. Die Messungen werden nicht nur bei den unter *3.* zur Untersuchung gelangenden Materialien systematisch durchgeführt, sondern auch bei denjenigen zur magnetischen Prüfung eingesandten Proben, welche ein interessantes Ergebnis versprechen. Die gewonnenen Resultate sind zum Teil bereits veröffentlicht (Anh. Nr. 35). Für die Bestimmung der Anfangspermeabilität von Dynamoblech, welche hauptsächlich für Stromwandler von praktischer Bedeutung ist, bleibt man vorläufig noch auf die recht zeitraubende Untersuchung von ausgestanzten Ringen angewiesen. Es sind jedoch Versuche im Gang, diese Messungen auch nach dem für die zylindrischen Stäbe verwendeten Prinzip in freier Spule durchzuführen oder auch den Epstein-Apparat dazu zu benützen.

5. Abhängigkeit der Sättigungswerte von Dynamoblechen von der Walzrichtung.

Nach den bisher vorliegenden Versuchen scheint der Einfluß der Walzrichtung auf den Sättigungswert erheblich geringer zu sein als auf die Induktion bei niedrigeren Feldstärken, ja sogar teilweise vollständig zu verschwinden. Interessant ist die zuerst von der Bismarckhütte gefundene, der Reichsanstalt mitgeteilte Tatsache, daß die Permeabilität von Blechstreifen, welche unter 45° gegen die Walzrichtung geschnitten sind, mitunter sogar noch größer sein kann als die Permeabilität parallel zur Walzrichtung, während bisher wohl allgemein angenommen wurde, daß die Permeabilität beim Übergang aus der Walzrichtung zu einer dazu senkrechten Richtung ständig abnimmt. Auch diese Erscheinung, welche bei den vorliegenden Versuchen bestätigt werden konnte, zeigt sich im Bereich der Sättigung nur noch wenig ausgeprägt. Es läßt sich aber daraus der für die Meßapparate nicht unwichtige Schluß ziehen, daß unter Umständen auch bei Berücksichtigung aller sonstigen Fehlerquellen die magnetische Messung eines Ringes wesentlich günstigere Resultate geben kann als die eines Probebündels, welches entsprechend den Normalien des Verbands Deutscher Elektrotechniker zur Hälfte in der Walzrichtung, zur Hälfte senkrecht dazu geschnitten ist.

6. Magnetischer Kreis unter Berücksichtigung der Hysterese.

Die Untersuchung von magnetischen Kreisen, welche Material von sehr verschiedener Beschaffenheit enthalten, bietet nach verschiedenen Seiten hin Interesse. Beispielsweise sind für die Meßtechnik wichtige Aufschlüsse über den Einfluß des Joches bei den Jochmessungen zu erwarten; sodann gehören hierzu auch die Fälle, bei denen das Versuchsmaterial aus mehreren Teilen von sehr verschiedenem magnetischen Verhalten besteht, wie etwa Ferrit, Perlit, Martensit u. s. w. Die bisher ausgeführten Versuche hatten im Anschluß an die Untersuchung der Kohlenstofflegierungen diesen zweiten Fall zum Gegenstand, der sich in einfacher Weise dadurch verwirklichen ließ, daß man etwa die gleiche Menge Streifen von weichem Dynamoblech und von gehärtetem Stahlblech, deren magnetische Eigenschaften bekannt waren, kombinierte und im Joch untersuchte. Es war von vornherein klar, daß hier z. B. die gewöhnliche Definition der Koerzitivkraft als derjenigen Feldstärke, welche ausreicht, den remanenten Magnetismus des Materials zu beseitigen, versagen würde; denn bei derselben Feldstärke, bei welcher der harte Teil des Bündels noch eine hohe positive Remanenz zeigt, hat der weiche Teil bereits negativen Magnetismus angenommen, und es gibt gar keine Feldstärke, bei welcher beide Teile gleichzeitig unmagnetisch wären. Wir haben es also hier nur mit einer scheinbaren Koerzitivkraft zu tun, die sich als diejenige Feldstärke definieren läßt, bei welcher der positive und der negative Induktionsfluß im Bündel gleich groß sind, sodaß die Wirkung auf eine das Bündel umschließende Induktionsspule oder auf das Magnetometer verschwindet. So findet man denn auch Werte, welche im ersten Augenblick überraschen können; beispielsweise ergab die Verbindung gleicher Teile eines harten Materials von der Koerzitivkraft 41 und eines weichen von der Koerzitivkraft 1 nicht etwa eine mittlere Koerzitivkraft von 21, sondern nur eine solche von 2,7.

Im übrigen ist die ganze Gestalt der beobachteten Magnetisierungskurve, speziell aber der Nullkurve und des aufsteigenden Astes, außerordentlich stark verzerrt; die Schleife erscheint in der Gegend des Knies nach unten stark ausgebaucht und wellenförmig; sie läßt sich aber, wie dies zu erwarten war, durch geometrische Addition der beiden Einzelschleifen genau konstruieren.

Dies Ergebnis hat insofern auch praktisches Interesse, als mehrere zur Prüfung eingesandte Materialien ähnliche abnorme Hystereseschleifen gezeigt hatten, deren eigentümliche Form sich nach den damaligen Erfahrungen nicht erklären ließ. Es ist kaum zweifelhaft, daß man es in diesen Fällen mit schlecht gekühltem Material zu tun hatte, welches martensitische Bestandteile in ferritischer Grundmasse enthielt. Aber auch die sehr häufig vorkommende, noch ziemlich regelmäßig aussehende Verbreiterung der Hystereseschleife in der Gegend des Knies, welche eine beträchtliche Vergrößerung des Hystereseverlustes bewirkt, dürfte wohl ähnlich zu erklären sein.

Vielleicht wird es auf dem eingeschlagenen Wege auch gelingen, die Magnetisierungskurve eines Teils der Kombination, welche der direkten Messung unzugänglich ist, wie etwa von Eisenkarbid o. dgl., durch Differenzmessungen zu ermitteln. Die Versuche werden fortgesetzt.

(Schluß folgt.)

Referate.

Apparat zur Veranschaulichung der Lage geologischer Schichten im Raume und zur Lösung hierauf bezüglicher Aufgaben der praktischen Geologie.

Von B. Kühn. *Zeitschr. f. prakt. Geologie* **17.** *S. 325. 1909.*

Der Schichtweiser.

Von Demselben. *Berg- und Hüttenmänn. Zeitschr. „Glückauf". 1910. Nr. 15.*

Das in diesen Aufsätzen[1]) beschriebene Instrument (vgl. auch den Prospekt Nr. 145 der mechanisch-optischen Werkstätten von R. Fuess in Steglitz: Der Schichtweiser nach Prof. Dr. Kühn, Berlin) ist eine recht sinnreiche Vorrichtung zur mechanischen Lösung, ohne Konstruktion und ohne Rechnung, der in der Praxis des Geologen und des Bergmanns vorkommenden mannigfaltigen Aufgaben über die Lage von Schichten oder Gängen, wie z. B. der folgenden: Ein Kohlenflöz ist an drei in einer Höhenkurvenkarte der Lage nach eingezeichneten Punkten in gegebener Tiefe erbohrt; was ist das Streichen und das Fallen der Ebene des Flözes? In welcher Tiefe stößt ein an einem vierten, ebenfalls der Lage nach in die Karte eingezeichneten Punkt niedergebrachtes Bohrloch auf das Flöz?

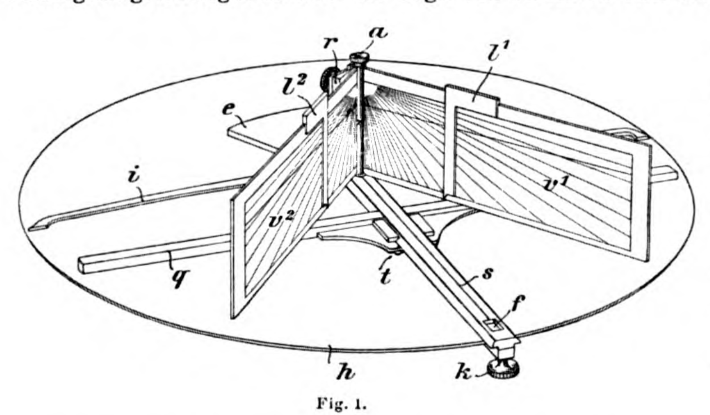


Fig. 1.

Wie die beistehenden Figuren zeigen, besteht das Instrument zunächst aus einer kreisfömigen, mit Grad- und Kompaßteilung (in der Fig. 1 weggelassen, in Fig. 2 angedeutet) versehenen Scheibe *h*; um eine durch die Mitte gehende Achse lassen sich zwei rechteckige Vertikalplatten v^1 und v^2 drehen, die durch Klemmen *r* festgestellt werden können. Jede der Platten trägt eine Teilung des rechten Winkels von 1⁰ zu 1⁰ und an der oberen horizontalen Kante eine Längenteilung; eine ebensolche im gleichen Maßstab haben die vertikalen Leisten l^1 und l^2, die sog. Schieber, die oben an den Platten *v* beweglich sind und unten in Einstellspitzen auslaufen. Zwischen *h* und den Platten v^1 und v^2 ist eine aus der Schiene *s* und dem Querstück *q* bestehende Vorrichtung eingeschaltet, beide ebenfalls mit denselben Längenteilungen versehen, wie sie oben an den Platten *v* vorhanden sind; die Schiene *s* ist radial beweglich, die Querleiste *q* tangential.

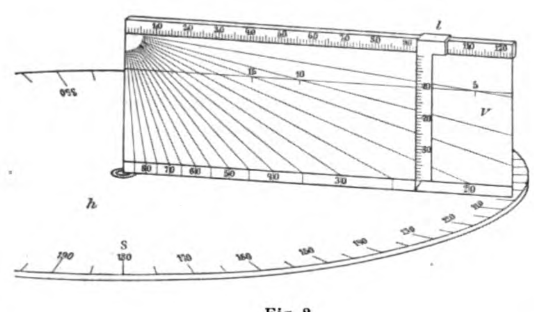


Fig. 2.

In der größeren Abhandlung des Verf. sind außer den oben genannten Aufgaben die folgenden mit dem Instrument gelöst: Bestimmung der Mächtigkeit einer Gesteinsschicht oder eines Gangs, von dem Streichen und Fallen bekannt und in der hangenden und liegenden Grenzfläche je ein Punkt gegeben ist; ferner die zahlreichen Aufgaben über die Durch-

[1]) Von dem Aufsatze in der Zeitschrift für praktische Geologie ist ein Sonderabzug zum Preise von 1,50 M. im Buchhandel erschienen. Der Verlag der genannten Zeitschrift (M. Krahmann) hat die Bildstöcke der beiden Figuren freundlichst zur Verfügung gestellt.

schnittslinie zweier Ebenen, z. B. der Schnittlinie einer Schichtebene und der Ebene einer Verwerfung, oder der Scharungslinie zweier Gänge, Konstruktionen in geologischen Karten (z. B. des Ausstreichens einer bestimmten Grenzfläche in der Höhenliniendarstellung).

Der „Schichtweiser" wird vom Verf. auch als Kotometer bezeichnet, weil er die Aufgaben in der kotierten Projektion mechanisch aufzulösen gestattet. Außer der Metallausführung, die R. Fuess für 320 M. liefert, ist besonders zu Unterrichtszwecken eine kleine billige Ausführung in Aussicht genommen, soviel der Ref. weiß aber noch nicht erschienen. Es würde hier, wenn der Preis für Schulen erschwingbar gestellt werden kann, in der Tat ein willkommenes instrumentelles Hilfsmittel räumlicher Lageanschauung geboten, das konstruktive oder rechnerische Lösungen hierher gehöriger Aufgaben wirksam unterstützen könnte.

Hammer.

Einfluß der gelösten Luft auf die Dichte des Wassers.

Von P. Chappuis. *Trav. et Mém. du Bureau Intern. des Poids et Mesures* **14.** *D. 63 S. 1910.*

Der Verf. hat gefunden, daß von Luft befreites Wasser beim Stehen an der Atmosphäre sich selbst in tieferen Schichten sehr schnell wieder mit Luft belädt. Proben des Wassers, welche einer von Luft befreiten Wassermasse 12 *cm* unter der Oberfläche entnommen wurden (die Versuche fanden bei einer Temperatur von 13,5° statt), enthielten wieder pro Liter

nach	2 Stunden	5 *ml* Luft,	d. h.	21,3%	der Sättigung	
„	25 „	12,4 „	„	53,0 „	„	„
„	100 „	17,4 „	„	74,3 „	„	„ .

In Rücksicht auf die im *Bureau International* angestellten Versuche zur Bestimmung des Volumens von 1 *kg* Wasser erschien es daher erforderlich, die Differenz der Dichten des luftfreien und des lufthaltigen Wassers zu bestimmen.

Die Beobachtungen wurden in Temperaturen zwischen 4° und 8°, wo die Änderung der Dichte des Wassers mit der Temperatur noch klein ist, nach zwei Methoden angestellt. Nach der ersten, einer Pyknometermethode, wurde eine mit geteiltem Kapillarrohr abgeschlossene Flasche nacheinander mit luftfreiem und luftgesättigtem Wasser gefüllt und gewogen. Aus der Massendifferenz in Verbindung mit Ablesungen des Standes der Wasserkuppe im Kapillarrohr und unter Berücksichtigung der klein gehaltenen Temperaturdifferenz in beiden Fällen ergibt sich der Unterschied der Wasserdichten. Die zweite Bestimmung erfolgte nach der Methode der hydrostatischen Wägung, indem ein mit Quecksilber beschwerter Glaskolben einmal im luftfreien, einmal im luftgesättigten Wasser gewogen wurde.

Beide Methoden können infolge abgeschiedener Luftbläschen zu etwas falschen Werten führen, doch ist der Einfluß der Luftbläschen in beiden Fällen nach verschiedenen Seiten gerichtet. Bei der Pyknometermethode, welche ja eigentlich in einer Messung der Volumina besteht, kann auf diese Weise das Volumen des lufthaltigen Wassers etwas zu groß, seine Dichte demnach etwas zu klein und somit die Dichtedifferenz gegen das luftfreie Wasser wieder etwas zu groß gefunden werden. Im Falle der hydrostatischen Wägung hängen sich die Luftbläschen an den zu wägenden Körper und vermehren seinen Auftrieb, führen also zu einem zu großen Werte für die Dichte des verdrängten Wassers. Die Dichtedifferenz gegen das luftfreie Wasser kann daher etwas zu klein werden. Die nach beiden Methoden erhaltenen Resultate stellen also Grenzwerte dar, zwischen denen der wahre Wert liegen muß. Als Endergebnis seiner Untersuchungen gibt der Verf. für die Differenz der Dichten des luftfreien und des luftgesättigten Wassers zwischen 5° und 8° die Werte

nach der Pyknometermethode . . . . $3,7 \times 10^{-6}$
nach der Methode der hydrostatischen Wägung . . . . . $2,4 \times 10^{-6}$

an. Beide Zahlen liegen einander genügend nahe, sodaß man das Mittel $3,0 \times 10^{-6}$, entsprechend 3 *mg* für 1 *kg*, als den wahren Wert der Dichtedifferenz ansehen kann.

Schl.

Untersuchung stehender Schallschwingungen mit Hilfe des Widerstandsthermometers.

Von K. Neuscheler. *Ann. d. Physik* **34.** *S. 131. 1911.*

Um die adiabatischen Temperaturänderungen in den Knotenpunkten stehender Luftschwingungen messen zu können — und das ist die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung — ist es notwendig, ein Thermometer zu benutzen von äußerst geringer Trägheit und großer Empfindlichkeit. Der Verf. wählte ein Bolometer aus Wollaston-Draht von 5 *cm* Länge, 0,001 *mm* Dicke und etwa 5000 Ohm Widerstand in Wheatstonescher Brückenanordnung in Verbindung mit einem Einthovenschen Saitengalvanometer, welches bei nicht allzu hoher Empfindlichkeit ganz außerordentlich schnelle Einstellung zeigt.

Zur Erzeugung der stehenden Luftschwingungen diente eine 2,35 *m* lange Orgelpfeife, deren erster Oberton von 100,5 Perioden mit einem Anblasedruck von 12 *cm* Wasser angeblasen wurde. Das Bolometer befand sich in dem Knoten an der Dackung. Die infolge der adiabatischen Temperaturänderungen hervorgerufenen Widerstandsänderungen in dem Bolometerdraht lassen in dem Saitengalvanometer Schwingungen der Saite entstehen, deren zeitlicher Verlauf und Amplitude mittels des dem Galvanometer beigegebenen photographischen Registrierapparats auf Films sich aufzeichneten.

Die Eichung des Galvanometers geschah mittels einer für den Zweck gebauten Sinusstrom-Maschine (mit eisenfreiem Induktor) für 96 bis 106 Perioden, indem das Galvanometer zu einem kleinen Widerstand parallel geschaltet wurde, der sich samt einem Hitzdrahtinstrument im Stromkreis der Sinusstrom-Maschine befand. Aus den hierbei sich ergebenden Empfindlichkeiten wurde für die Periode 100,5 eine Empfindlichkeit von $0{,}506 \times 10^{-7}$ Amp. pro 1 *mm* Amplitude gefunden. Die Widerstandsänderung des Bolometerdrahtes beim Versuch im Knoten der stehenden Luftschwingungen veranlaßte eine Amplitude von 4,3 *mm*. Hieraus und aus den bekannten Widerständen in den Brückenzweigen u. s. w. ließ sich nach besonderer Bestimmung des Temperaturkoeffizienten des Bolometerdrahtes eine adiabatische Temperaturänderung von $\pm 0{,}130^\circ$ C. berechnen.

Daß die ganze im Knoten vorhandene adiabatische Temperaturänderung gemessen wurde, schloß der Verf. daraus, daß ein dickerer Bolometerdraht (0,0029 *mm*) eine Temperaturänderung $\pm 0{,}124^\circ$ ergab, eine Abweichung von obigem Wert, die, wenn sie nicht als in die Fehlergrenze[1]) fallend betrachtet werden soll, die Annahme nahelegt, daß die wahre adiabatische Temperaturänderung von $0{,}130^\circ$ nur um etwa 1% verschieden ist.

Mit dem gewonnenen Wert lassen sich folgende Konstanten der untersuchten Schwingung berechnen. Die Gesamtverschiebung (doppelte Amplitude) eines Teilchens im Bauch der Schwingung betrug 0,116 *cm*; die Maximalgeschwindigkeit eines Teilchens im Bauch 37 *cm*/Sek.; die Energiedichte 0,44 Erg/*ccm*.

Die Messung der Temperaturänderungen in verschiedenen Gasen zur Bestimmung des Verhältnisses der spezifischen Wärmen c_p/c_v zu benutzen, wie der Verf. vorschlägt, dürfte sich im Hinblick auf die geringe dabei erreichbare Genauigkeit kaum empfehlen. Man muß zu dem Zweck das Bolometer in ein Gefäß einschließen, welches durch eine dünne Membran (oder dünnes Glas) verschlossen ist und in die Dackung einer langen Orgelpfeife eingesetzt werden muß, sodaß die Membran der Mundöffnung zugekehrt ist. Ein Vorteil der Methode ist, daß nur geringe Quantitäten des Gases zu ihrer Benutzung erforderlich sind.

S. V.

Beseitigung des Öffnungsfunkens beim Ausschalten von Elektromagneten.

Von S. Riefler und C. Paulus. *Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 861. 1910.*

Die Verf. nehmen mittels eines Oszillographen Strom- und Spannungskurve an einer Spule von 100 Ohm und 0,5 Henry auf, wenn sie aus- und eingeschaltet wird. Um beim Ausschalten ein möglichst plötzliches Abfallen der Stromkurve auf Null zu erzielen, werden

[1]) Als Fehlergrenze wird 5% angegeben.

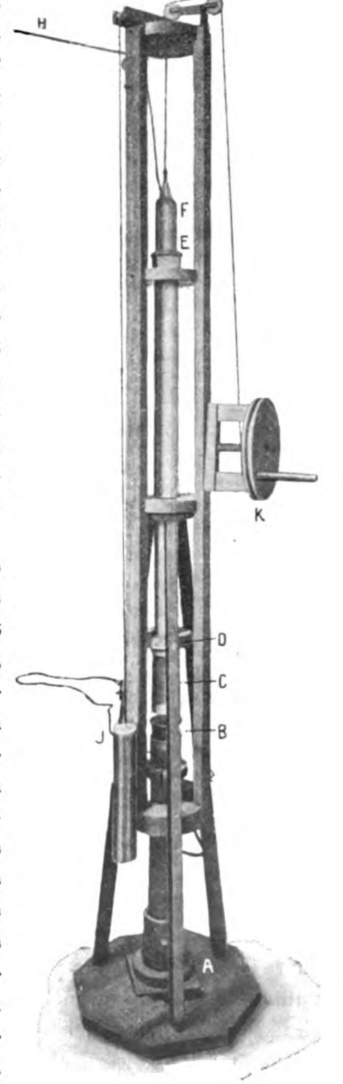
die bekannten Mittel angewandt: Parallelschalten von Widerständen oder Kondensatoren zu Spule oder Schalter. Aus der oszillographischen Aufnahme erkennt man unmittelbar die Wirksamkeit. Ein sehr brauchbares Mittel scheinen Polarisationszellen parallel zum Schalter zu sein, weil diese nach Aufnahme des Stromstoßes den Strom parallel zum Schalter absperren. Die Verf. dürften aber nicht die günstigsten Polarisationszellen benutzt haben.

E. O.

Die Messung der Permeabilität des Eisens bei sehr kleinen Feldstärken („Anfangspermeabilität").

Von E. Gumlich und W. Rogowski. *Ann. d. Physik* **34.** *S. 235. 1911; Elektrotechn. Zeitschr.* **32.** *S. 180. 1911.*

Die in der Phys.-Techn. Reichsanstalt angestellten Versuche der Verf. zur einwandfreien Bestimmung der sogenannten „Anfangspermeabilität" von Eisenstäben u. s. w. führten zunächst zu dem negativen Ergebnis, daß es unmöglich ist, diese Messungen nach der gewöhnlichen Jochmethode auszuführen, da offenbar das Joch selbst bei diesen außerordentlich niedrigen Induktionen starke Störungen verursacht. Weiter ergab sich als unerläßliche Bedingung eine *vollständige* Entmagnetisierung des Versuchsobjektes, also die Beseitigung jeder Spur von remanentem Magnetismus, wie er beispielsweise schon durch eine Komponente des Erdfeldes hervorgerufen wird. Dies ist nun nach dem gewöhnlichen Verfahren nicht zu erreichen, bei welchem der zu untersuchende Stab in einer Spule einem Wechselfeld ausgesetzt wird, dessen Stärke durch Einschalten von Widerstand in den Stromkreis allmählich bis auf Null verringert wird; denn schon ganz geringe Unstetigkeiten, wie sie auch bei der Verwendung von Ruhstrat-Widerständen u. dgl. nicht vollständig zu vermeiden sind, lassen Spuren von remanentem Magnetismus entstehen. Es mußte deshalb ein anderes Mittel gefunden werden, und zwar knüpft dasselbe an den du Bois-Reymondschen Schlittenapparat an.



An der von einem Wechselstrom passender Stärke durchflossenen Primärspule AB (vgl. die Figur) von 40 *cm* Länge, 6 *cm* lichter Weite und etwa 5000 Windungen befindet sich eine mit Dynamoblechstreifen gefüllte Sekundärspule, deren Wickelung durch die Leitung FH mit der zum Entmagnetisieren benutzten, in der Figur nicht angegebenen Spule verbunden ist. Mittels der Kurbel K und des Schnurlaufs KGG kann die Sekundärspule langsam aus dem Bereich der Primärspule herausgewunden und dadurch die Stromstärke in der Sekundärspule und der Entmagnetisierungsspule ganz allmählich und gleichmäßig geschwächt werden. Ist die höchste Stellung der Sekundärspule erreicht, so wird die Primärspule um zwei Scharniere bei A in horizontale Lage gekippt, wodurch auch der letzte Rest einer Einwirkung verschwindet. Um einer zu raschen Abnahme des Feldes am Ende der Primärspule vorzubeugen, wurde noch eine Hilfsspule CD mit nach oben hin abnehmender Windungszahl eingeführt, welche mit AB in Reihe geschaltet war. Das Führungsrohr DE verhindert das Pendeln der Sekundärspule, durch welches unregelmäßige Stromschwankungen erzeugt werden können.

Bei den mit dieser Vorrichtung entmagnetisierten Proben konnte mittels des Magnetometers keine Spur von Remanenz mehr nachgewiesen werden, und es war nun zunächst möglich, die Messungen der Anfangspermeabilität an bewickelten Ringen oder an Ellipsoiden in freier Spule nach dem gewöhnlichen ballistischen Verfahren auszuführen. Um das letztere jedoch auch auf Stäbe von verschiedenem Dimensionsverhältnis ausdehnen zu können, deren Herstellung viel einfacher ist, die aber bekanntlich wegen der ungleichmäßigen Magnetisierung eine Messung nicht ohne weiteres gestatten, wurden zunächst mehrere 6 *mm* dicke und 33 *cm* lange zylindrische Stäbe von möglichst verschiedener Magnetisierbarkeit allmählich bis auf 18 *cm* verkürzt und bei jeder Stablänge die Ausschläge des ballistischen Galvanometers gemessen, welches mit einer die Stabmitte umschließenden Sekundärspule von mehreren tausend Windungen verbunden war, wenn in der Magnetisierungsspule Ströme von ganz bestimmter Stärke kommutiert wurden. Diese der jeweiligen Induktion im Stabe entsprechenden Ausschläge nehmen trotz gleichen äußeren Feldes mit abnehmender Stablänge ab, da die entmagnetisierende Wirkung der Stabenden wächst. Diese Änderung wurde in Kurvenform aufgetragen, und man war nun zunächst in der Lage, mit Hilfe davon aus den Ausschlägen, welche ein kürzerer Stab gab, diejenigen zu berechnen, welche er bei 33 *cm* Länge gegeben haben würde.

Sodann wurden eine Anzahl möglichst verschiedener, 33 *cm* langer Stäbe zum Ellipsoid abgedreht und bei den gleichen scheinbaren Feldstärken die ballistischen Messungen wiederholt. Auch hier nehmen die Ausschläge — je nach der Art des Materials — mehr oder weniger stark ab; die gefundenen Resultate wurden wieder in Kurvenform aufgetragen und ermöglichten es in Verbindung mit den erstgenannten Kurven, für einen Stab von bestimmtem Anfangsausschlag und Dimensionsverhältnis diejenigen Ausschläge zu ermitteln, welche er in Ellipsoidform geben würde; diese aber sind der Berechnung zugänglich.

Nach diesem Verfahren untersuchten die Verf. eine größere Anzahl der verschiedensten Eisensorten: Elektrolyteisen, Dynamostahl, schwedisches Holzkohleneisen, Gußeisen, Stahl, Siliziumlegierungen u. s. w., für welche nicht nur der sonstige Verlauf der Magnetisierungskurve bis zur Sättigung, sondern zumeist auch die chemische Zusammensetzung bekannt war; sie kommen dabei zu folgendem Ergebnis.

Kleiner Maximalpermeabilität oder, was dasselbe ist, kleiner Remanenz und großer Koerzitivkraft entspricht auch eine kleine Anfangspermeabilität; dagegen besitzt nicht jedes Material von hoher Maximalpermeabilität auch eine hohe Anfangspermeabilität; hier bleibt nichts übrig, als eine Messung von Fall zu Fall. Passendes Ausglühen ist meist vorteilhaft, hauptsächlich beim Gußeisen. Kohlenstoffgehalt, namentlich in Gestalt von Härtungskohle, drückt die Anfangspermeabilität außerordentlich stark herunter; hoher Siliziumgehalt dagegen wirkt sehr günstig. Der höchste Wert der Anfangspermeabilität $\mu_0 = 510$ wurde bei einer Legierung von 4,5 % Si erhalten; doch erreichten auch einige reine Materialien angenähert die gleiche Höhe. *Glch.*

Bücherbesprechungen.

J. P. C. Southall, *The Principles and Methods of Geometrical Optics.* gr. 8°. XXIII, 626 S. mit 170 Fig. New York, The Macmillan Co. 1910. Geb. in Leinw. 25,60 M.

Der Verf. hat das vorliegende Buch in der Absicht geschrieben, der englischen Literatur ein Lehrbuch der geometrischen Optik zu verschaffen, das eine allgemeine Einleitung zu der Theorie der einzelnen optischen Instrumente sein soll. Er schließt sich bei der Behandlung des Stoffes in vielen Punkten eng an Czapskis „Theorie der optischen Instrumente nach Abbe“[1]) und an das von M. v. Rohr herausgegebene Werk „Die Theorie der optischen Instrumente“[2]) an. Ein Unterschied des Southallschen Buches gegenüber dem letztgenannten

[1]) Vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **26.** *S. 97. 1906.*

[2]) I. Band: „Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik“; Referat in *dieser Zeitschr.* **24.** *S. 158. 1904.*

besteht vor allem darin, daß der Verf. bei der Theorie der optischen Abbildung die projektive (bezw. in speziellen Fällen affine) Beziehung der Gebilde zueinander mit Vorliebe behandelt und daß er die schwierigeren Kapitel, wie beispielsweise das für die Anwendung so wichtige Kapitel VII „Die Berechnung optischer Systeme auf Grund der Theorie der Aberrationen", wegläßt und sich mit dem Hinweis darauf begnügt. Ferner wird es für englische Leser, welche im Anschluß an das Buch von Southall das zweite oben genannte Werk benutzen wollen, nicht gerade angenehm sein, daß der Verf. andere Bezeichungen wählt als v. Rohr[1]).

Im einzelnen ist der Inhalt folgender.

Zunächst werden die Methoden und Grundgesetze der geometrischen Optik behandelt (Kap. 1, *S. 1 bis 32*) mit Einschluß der Huygensschen Konstruktion der gebrochenen und reflektierten Welle. Im 2. Kap. (*S. 33 bis 50*) behandelt der Verf. die charakteristischen Eigenschaften der Lichtstrahlen, also beispielsweise das Fermatsche Gesetz, den Sturmschen Satz u. s. w. Dann bringt er im 3. Kap. (*S. 51 bis 73*) die Reflexion und Brechung an einer Planfläche (ein Kapitel, das, wie der Verf. *S. 73* selbst bemerkt, eigentlich überflüssig ist, da der Fall der Planfläche durch Spezialisierung des später behandelten Falles der Kugelfläche abgeleitet werden kann). Daß Southall der Planfläche ein besonderes Kapitel gewidmet hat, erklärt sich aus seinem Bestreben, nicht gleich den allgemeinsten Fall zu behandeln, sondern durch vorherige Behandlung eines speziellen Falles auf den allgemeinen Fall vorzubereiten (vgl. später das Verhältnis des Schlusses von Kap. 5 zu Kap. 7). Im 4. Kap. (*S. 74 bis 133*) — Prismen und Prismensysteme — wird u. a. die astigmatische Brechung für den Fall eines Prismensystems behandelt, und zwar sowohl geometrisch nach der Burmesterschen Methode als auch analytisch. Die Bilddrehung wird vom Verf. nicht behandelt. Das 5. Kap. (*S. 134 bis 173*) enthält die Reflexion und Brechung von Paraxialstrahlen an einer Kugelfläche mit einem besonderen Abschnitt über die kollineare Beziehung der beiden durch eine solche Abbildung verbundenen ebenen Felder. Im 6. Kap. (*S. 174 bis 197*) wird die Brechung der Paraxialstrahlen durch eine dünne Linse oder durch ein dünnes Linsensystem behandelt mit Einschluß des Cotesschen Satzes über ein dümes Linsensystem. Kap. 7 (*S. 198 bis 262*) enthält die geometrische Theorie der optischen Abbildung; es ist hier dem Abschnitt „Kollineare optische Systeme" eine kurze Übersicht der Hauptbegriffe der Kollineationstheorie als Einleitung vorausgeschickt. Kap. 8 (*S. 263 bis 286*) behandelt die ideale Abbildung durch Paraxialstrahlen im zentrierten optischen System; es enthält u.a. die Smith-Helmholtzsche Gleichung sowie die Seidelschen Formeln, welche die Einfallshöhen von zwei von verschiedenen axialen Objektpunkten ausgehenden Paraxialstrahlen zueinander in Beziehung bringen. Das 9. Kap. (*S. 287 bis 315*) enthält sowohl die geometrische Konstruktion als auch die trigonometrischen Formeln für den Verlauf eines an einer Kugelfläche gebrochenen Strahls. Im 10. Kap. (*S. 316 bis 330*) wird die trigonometrische Durchrechnung eines Strahls durch ein System zentrierter brechender Kugelflächen behandelt; zu den Brechungsformeln des 9. Kap. kommen also hier die Übergangsformeln hinzu. Die Rechenmethode für den Fall eines von einem Achsenpunkt ausgehenden Strahls wird (*S. 319 bis 321*) an dem Beispiel eines zweiteiligen Fernrohrobjektivs erläutert. Für den ebenfalls im 9. und 10. Kap. behandelten Fall windschiefer Strahlen teilt der Verf. die Brechungs- und Übergangsformeln von Kerber und v. Seidel mit, jedoch nicht die von Bruns. Das 11. Kap. (*S. 331 bis 366*) behandelt den allgemeinen Fall der Brechung eines unendlich dünnen Strahlenbündels durch ein optisches System (Astigmatismus). Kap. 12 (*S. 367 bis 473*) „Die Theorie der sphärischen Aberrationen" bringt nach einem einleitenden Abschnitt im engen Anschluß an das von König und v. Rohr geschriebene Kap. V des v. Rohrschen Buchs folgende Abschnitte: Die sphärische Aberration für den Fall eines auf der optischen Achse gelegenen Objektpunktes (*S. 376 bis 400*), Sinusbedingung (*S. 400 bis 415*), Orthoskopie (Bedingung für die Verzeichnungsfreiheit des Bildes, *S. 415 bis 429*),

[1]) So definiert z. B. Verf. *S. 13* den Einfallswinkel als den spitzen Winkel, um den die *Normale* gedreht werden muß, damit sie mit dem einfallenden Strahl zusammenfällt, also entgegengesetzt wie v. Rohr *S. 9*, doch wird auch der positive Sinn der Drehung entgegengesetzt gewählt, sodaß dasselbe Vorzeichen resultiert.

Astigmatismus und Bildkrümmung (*S. 429 bis 444*), Komafehler (*S. 444 bis 456*), Seidels Theorie der Aberrationen dritter Ordnung (*S. 456 bis 473*). Im 13. Kap. (*S. 474 bis 531*) werden die „Farbenerscheinungen“ behandelt, und zwar im ersten Abschnitt (*S. 474 bis 503*) die Dispersion bei einem Prisma und einem Prismensystem, im zweiten Abschnitt (*S. 503 bis 531*) die chromatischen Aberrationen eines Systems zentrierter Kugelflächen. Über das Amicische dreiteilige geradsichtige Prismensystem bemerkt Verf. *S. 492, Anmerkg. 1*, daß es ihm nicht gelungen sei, die im v. Rohrschen Buch, *S. 461 unten*, angegebene Formel (für das Verhältnis der nutzbaren Prismenbreite zur wirklichen Prismenbreite) zu erhalten. Die dortige Formel ist erhalten aus

$$\frac{y}{h} = \frac{\cos i_1 \, . \cos i_2}{\cos i_1' \, . \cos i_2'} .$$

Führt man im Nenner für i_1' den Wert $i_2 + \alpha_1 = i_1 - \varepsilon_1$ und für $i_2' = i_2 - \varepsilon_2 = i_2 + \varepsilon_1$ ein, dann erhält man die von Southall angegebene Formel (388). Durch Auflösen der Cosinus und Ersatz von $\cos^2 \varepsilon_1$ durch $1 - \sin^2 \varepsilon_1$ erhält man aus $\cos (i_1 - \varepsilon_1) \cdot \cos (i_2 + \varepsilon_1)$ zunächst $\cos i_1 \cos i_2 - \sin^2 \varepsilon_1 \cos (i_1 - i_2) + \sin \varepsilon_1 \cos \varepsilon_1 \sin (i_1 - i_2) = \cos i_1 \cos i_2 - \sin \varepsilon_1 \sin (\varepsilon_1 - i_1 + i_2)$ $= \cos i_1 \cos i_2 + \sin \varepsilon_1 \sin \alpha_1$, und dies ist der in der Czapskischen Formel auftretende Nenner.

Im 14. Kap. (*S. 532 bis 582*) wird die Abbesche Lehre von der Strahlenbegrenzung behandelt gemäß Kap. IX bei v. Rohr, außerdem noch die Helligkeit optischer Bilder. Leider hat Verf. die Wirkungsweise eines in Verbindung mit dem Auge benutzten optischen Instruments insofern nicht eingehend behandelt, als er den Augendrehpunkt überhaupt nicht erwähnt. Für objektseitiges Abbild hat Verf. die Übersetzung *„projected object“* gewählt, welche so recht daran erinnert, daß dasselbe durch ein Projektionsverfahren entstanden ist; ebenso *projected image* = bildseitiges Abbild. Eintrittsluke und Austrittsluke werden vom Verf. mit *„entrance-port“* und *„exit-port“* übersetzt, während Wandersleb[1]) ganz zweckmäßig direkt den deutschen Ausdruck Luke ins Englische übernommen hat.

Ein ausführliches Verzeichnis (*S. 583 bis 612*) der gebrauchten Abkürzungen erleichtert die Benutzung des Buches; auch hat sich der Verf. bemüht, möglichst immer durch Figuren die Anschaulichkeit der Darstellung zu erhöhen. Hoffen wir, daß Verf. bald die Muße finden möge, die Theorie der einzelnen optischen Instrumente, die er uns im Vorwort verspricht, zu schreiben. *Dr. H. Erfle in Jena.*

Th. Pregél, Theorie des Präzisions-Stangenplanimeters, System Pregél. gr. 8°. VII, 140 S. m. Fig. Chemnitz, E. O. Richter & Co. 1909. 3 M.

Der Verf. gibt eine sehr ausführliche Theorie seines Präzisions-Traktorienplanimeters mit zwei symmetrisch an der Stange angebrachten Schneidenrollen; vgl. zu diesem Instrument das Referat über die Arbeit von Schreiber in *dieser Zeitschr.* ***30.*** *S. 196. 1910*, ferner auch die Notiz in *dieser Zeitschr.* ***28.*** *S. 373. 1908*, wo bereits eine Abbildung und Beschreibung mitgeteilt ist.

Einer kurzen Einleitung und Beschreibung des Instruments folgt die synthetische Theorie, die mit einem Blick auf Saviottis graphische Integration, „Schlußbemerkungen über das Präzisions-Stangenplanimeter“ (kurzen Regeln als Gebrauchsanweisung), endlich der (nicht vollständigen) Zusammenstellung der Literatur des Stangenplanimeters (Runge, Jordan Hamann, Maffiotti, Schreiber; die Arbeiten von Prytz selbst, von Goodman und v. A. fehlen) schließt. Es folgt im II. Abschnitt eine „Analytische Theorie“, die nicht, wie Schreiber in der oben zitierten Arbeit, von Hyperbelfunktionen Gebrauch macht; hier werden auch die Schreiberschen Versuchsmessungen mit ihren so außerordentlich günstigen Ergebnissen besprochen und neue Messungsversuche an einem „Normalrechteck“ mit ebenso günstigen Resultaten (*S. 86*) mitgeteilt.

Der III. Abschnitt ist der Theorie des „Präzisions-Traktoriograph-Planimeters“ gewidmet, an dem der Stechstift des Präzisions-Stangenplanimeters durch eine Reißfeder ersetzt ist, an deren Schaft eine Tellerscheibe für Auflegegewichte angebracht ist. Dieses Instrument

[1]) E. Wandersleb, *On the regulation of the rays in photographic objectives. The Photographic Journ.* ***33.*** *Heft 1. 1909.*

dient hauptsächlich zur Aufzeichnung von Traktrixkurven (wie der Kleritjsche Traktoriograph; schon 1896 veröffentlicht, vgl. *diese Zeitschr.* ***18.*** *S. 62. 1898*), mit deren Hilfe besonders mechanische Aufgaben auf rein geometrischem Weg gelöst werden können. Wenn die Leitlinie jener Traktrix ein Kreis ist, so kann das System mechanisch als ein Kurbelgetriebe bezeichnet werden, in dem der normale Führungsdruck auf die Gleitbahn (Traktrix) stets Null ist, wie denn überhaupt der Traktoriograph kinematisch das allgemeinste Kurbelgetriebe darstellt mit reibungsloser Bewegung des Gleitstücks.

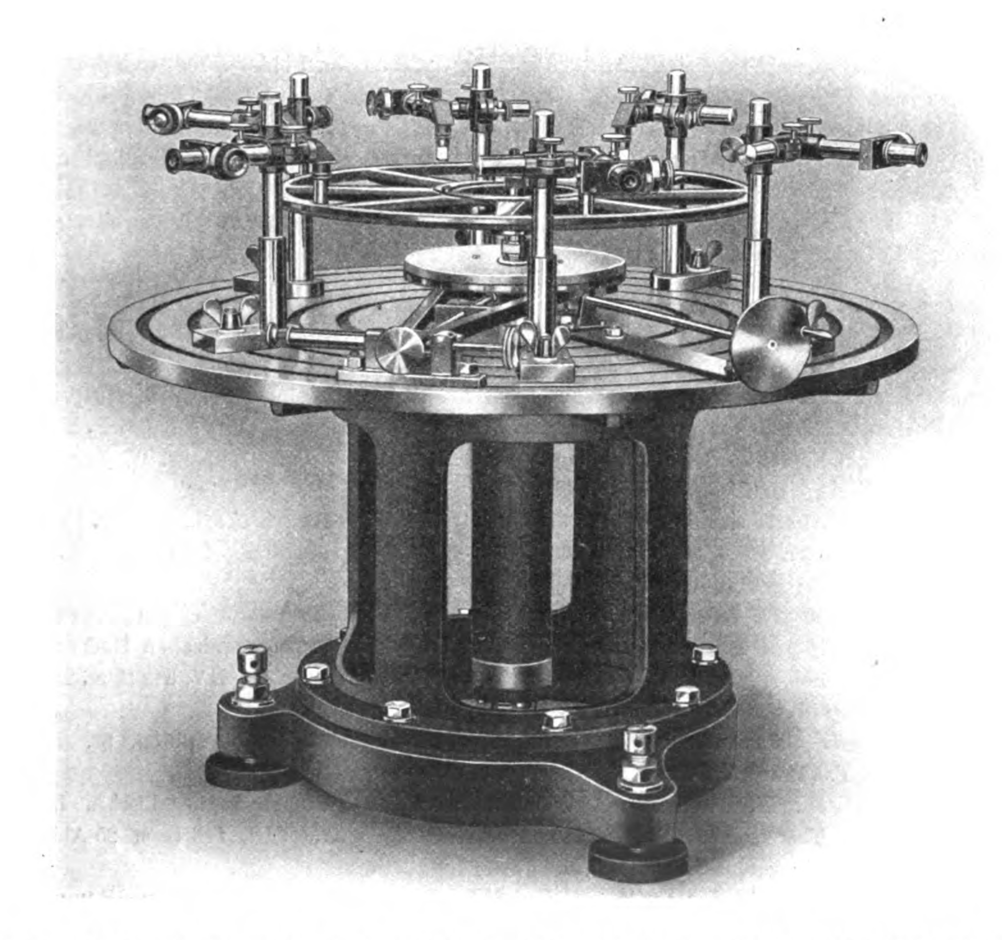
Der IV. Abschnitt gibt eine „Geometrie der Traktrixkurven" bei der auch Kleritjs Anwendungen seines Traktoriographen (zur Kreisteilung, zur Ermittlung von π, ferner von e, zur Konstruktion der Logistik) kurz erwähnt werden. Diese Traktrixkurven will der Verf. noch in größerer Allgemeinheit in einem künftig erscheinenden V. Abschnitt behandeln.

Hammer.

Neue Preisliste von Gustav Heyde in Dresden.

Preisliste V: Teilmaschinen und Hilfsinstrumente. 4⁰. 35 S. m. Fig. 1911.

Das mathematisch-mechanische Institut von G. Heyde in Dresden (Friedrichstr. 18) beschreibt in der eben erschienenen Preisliste V vor allem die automatischen Kreisteilmaschinen



System G. Heyde, über die in *dieser Zeitschr.* ***24.*** *S. 310. 1904* und ***25.*** *S. 69. 1905* berichtet ist. Der wesentliche Unterschied zwischen der Heydeschen und andern Konstruktionen ist bekanntlich die Bewegungsvorrichtung, bei Heyde durch eine mit *allen* Umgängen in die Kreiszahnteilung einliegende Hohlschraube (Globoidschraube), bei allen andern Systemen durch eine Tangentenschraube, die eigentlich nur mit *einem* Umgang einliegen kann. Die erste

Teilmaschine mit Hohlschraubenantrieb ist bei **Heyde** nun über zwei Jahrzehnte (seit 1889) in beständigem Betrieb, und es hat sich während dieser Zeit nicht nur keine Deformation der Zähne, weder am Kreis noch an der Schraube, gezeigt, sondern es sind auch die anfänglich vorhandenen kleinen Fehler noch weiter verringert worden. Dies spricht allerdings sehr zugunsten der Richtigkeit des **Heyde**schen Prinzips, trotz aller Bedenken, die der exakten Herstellung der Hohlschraube entgegenstanden. Der Antrieb der Bewegungsschraube an der Kreisteilmaschine ist von **Heyde** ebenfalls verbessert worden, wie dies in der zweiten der oben zitierten Mitteilungen bereits auseinandergesetzt ist.

Es werden jetzt automatische Kreisteilmaschinen von 34 *cm* bis $1^1/_2$ *m* Kreisdurchmesser geliefert, die 14 bis 16 Striche in der Minute ziehen, sodaß z. B. ein $^1/_{12}{}^0$-Kreis in rund 5 Stunden geteilt wird. Die Maschinen werden eingehend beschrieben und abgebildet, auch sind von einzelnen Teilen größere Abbildungen beigegeben, z. B. vom Horizontal- und vom Vertikalreißerwerk, der selbsttätigen Abstellvorrichtung, die am Antriebswerk angebracht ist und verhindert, daß bei Unachtsamkeit des Teilers die Maschine bei bereits vollendeter Teilung weiterarbeitet. Der Preis der kleinsten Nummer dieser (voll-) automatischen Kreisteilungsmaschinen (34 *cm*-Kreis) ist, ohne die besondern Vervollständigungen, 4500 M., der der größten Nummer (150 *cm*-Kreis) ohne Beigaben 17500 M.; die Zwischennummern haben 50, 68 und 100 *cm* Kreisdurchmesser.

Die Preisliste führt ferner zwei Zahlenschreibapparate für Kreisteilungen vor, eine Mikrometer-Teilmaschine, zwei Apparate zur Untersuchung der Fehler geteilter Kreise (nach Angaben von Prof. **Bruns** in Leipzig), mit vier und mit zwei Mikrometer-Mikroskopen, Preise 3800 und 600 M.; der größere der beiden Apparate ist in umstehender Figur abgebildet. Es folgen noch eine Einrichtung zum Aufziehen der Fäden auf Fernrohrdiaphragmen, ein Sphärometer, einige Libellenprüfer.

Die **Heyde**schen Kreisteilungsmaschinen werden sich sicher rasch erweitertes Anwendungsfeld schaffen; der Fortschritt, den sie bringen, ist unverkennbar.

Hammer.

Neu erschienene Bücher.

Newcomb-Engelmanns Populäre Astronomie. 4. Aufl. In Gemeinschaft m. den Hrn. Prof. **Eberhard**, Prof. **Ludendorff**, Prof. **Schwarzschild** hrsg. v. Prof. Dr. P. **Kempf**. Lex 8°. XVI, 772 S. m. 213 Abbildgn. im Text u. auf 21 Taf. Leipzig, W. Engelmann 1911. 14 M.; geb. in Leinw. 15,60 M.

E. v. Lommel, Lehrbuch der Experimentalphysik. 17.—19. neubearb. Aufl., hrsg. v. Prof. Dr. W. **König**. gr. 8°. X, 644 S. m. 441 Fig. u. 1 (farb.) Spektraltaf. Leipzig, J. A. Barth 1911. 6,60 M.; geb. in Leinw. 7,50 M.

J. Finger, Elemente der reinen Mechanik als Vorstudium f. die analytische u. angewandte Mechanik u. f. die mathematische Physik an Universitäten u. technischen Hochschulen, sowie zum Selbstunterricht. 3., neubearb. u. verm. Aufl. gr. 8°. XV, 842 S. m. 213 Fig. Wien, A. Hölder 1911. 22 M.; geb. 24,50 M.

Die Wissenschaft. Sammlung naturwissenschaftl. u. mathemat. Monographien. 8°. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.

35. Heft. K. **Baedecker**, Die elektrischen Erscheinungen in metallischen Leitern. Leitung, Thermoelektrizität, galvanomagnet. Effekte, Optik. VIII, 146 S. m. 25 Abbildgn. 1911. 4 M.; geb. in Leinw. 4,80 M.

A. Gleichen, Die Theorie der modernen optischen Instrumente. Ein Hilfs- u. Übungsbuch f. Physiker u. Konstrukteure opt. Werkstätten, sowie f. Ingenieure im Dienste des Heeres u. der Marine. Lex. 8°. XII, 332 S. m. 260 Fig. u. 109 gelösten Aufgaben. Stuttgart. F. Enke 1911. 10,80 M.; geb. in Leinw. 12 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **F. R. Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Raps**, geschäftsführendes Mitglied, Dr. **H. Krüss**, Prof. Dr. **R. Straubel**.

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **Juni 1911.** Sechstes Heft.

Der Kompensations-Planimeterstab.

Von

J. Schnöckel in Berlin.

Das in Fig. 1 abgebildete, Kompensations-Planimeterstab[1]) genannte Instrument zur genauen Flächenberechnung krummlinig begrenzter Figuren und zur Auswertung registrierter Kurven erinnert seiner Form nach an das seit 1886 bekannte Prytzsche Stangenplanimeter[2]), eine Erfindung, die vielfach zu Erörterungen in Fachzeitschriften Veranlassung gegeben hat. Die folgende Mitteilung soll nicht nur eine Beschreibung und Theorie dieses neuen Planimeters geben, sondern auch seine Vorteile und Nachteile im Vergleich zu anderen Systemen berücksichtigen, wobei den Genauigkeitsuntersuchungen besonders Rechnung getragen ist.

Der Planimeterstab unterscheidet sich konstruktiv wesentlich dadurch von dem genannten Instrument, daß zwecks Umfahrung einer Figur mit dem Fahrstift *f* der Fahrstab *a* über den Rand einer Rolle *r* (Fig. 1 oben und unten) oder auf eine Kugel (mittleres Instrument) gelegt wird, die er rollt, sodaß der Rollenabstand vom Fahrstift nicht (wie bei Prytz) konstant bleibt, sondern sich fortwährend stetig ändert. Der Stab läuft in eine Ablesevorrichtung mit Indexstrich *i* aus und ruht in drei Punkten, mit dem Fahrstift, dem Flügelgriff und dem Rollenrand, auf dem Papier. Die Rolle hat eine zylinderähnliche Gestalt, deren hervorstehender scharfer Rand in einer Rille des Fahrstabes Halt findet, während der Zylinder sie seitlich gegen eine Schiene *s* des Stabes drückt, sodaß sie nur in der Stabrichtung rollt und das Planimeter nicht umfallen kann.

Zur Flächenberechnung, z. B. der Parzelle 8 (Fig. 1), legt man den Stab mit dem Fahrstift in einem beliebigen Punkt des Umfangs so an, daß er sie nicht bedeckt und ungefähr auf ihre Mitte gerichtet ist, während der rechte Rollenrand auf eine der Marken an der Schiene *s* eingestellt wird. Stützt man den Maßstab[3]) *b e* mit der Zunge *c* gegen das Instrument, so fällt der Nullstrich der zum Flächenstabe ungefähr senkrechten Einteilung mit dem Indexstrich *i* zusammen, ohne eine besondere Einstellung zu erfordern. Da der Maßstab in *b* mit einer Nadelspitze (ähnlich dem Pol

[1]) Das Planimeter ist zum Patent angemeldet, im Handel aber noch nicht zu haben und vorläufig nur durch den Verfasser, Berlin N, Invalidenstraße 42, Geodätische Abteilung der Kgl. Landwirtschaftlichen Hochschule, zu beziehen. Preis des Planimeterstabes mit Rolle (Fig. 1 unten) in Etui 28 M.

[2]) Vgl. die Abhandlung „Das Prytzsche Stangenplanimeter" von E. Hammer, *diese Zeitschr.* ***15.*** *S. 90. 1895.*

[3]) Jedem Planimeter ist der in Fig. 1 abgebildete, mit weißem Zelluloid belegte Maßstab, welcher mit einer als Lehre dienenden Zunge *c* und Metallansatz *b* u. s. w. versehen ist, beigegeben.

eines Polarplanimeters)[1]) auf dem Papier ruht, so kann man ihn um *b* drehen und während der Umfahrung der Fläche zur Seite schieben. Nach der rechtsläufig ausgeführten Umfahrung bringt man die Einteilung um *b* drehend an den Indexstrich *i* des Flächenstabes und liest sie ab. Das Zehnfache der Ablesung ist der einfache bezw. doppelte Flächeninhalt Φ der umfahrenen Figur, je nachdem die Rolle auf die linke oder rechte Marke am Stabe eingestellt war.

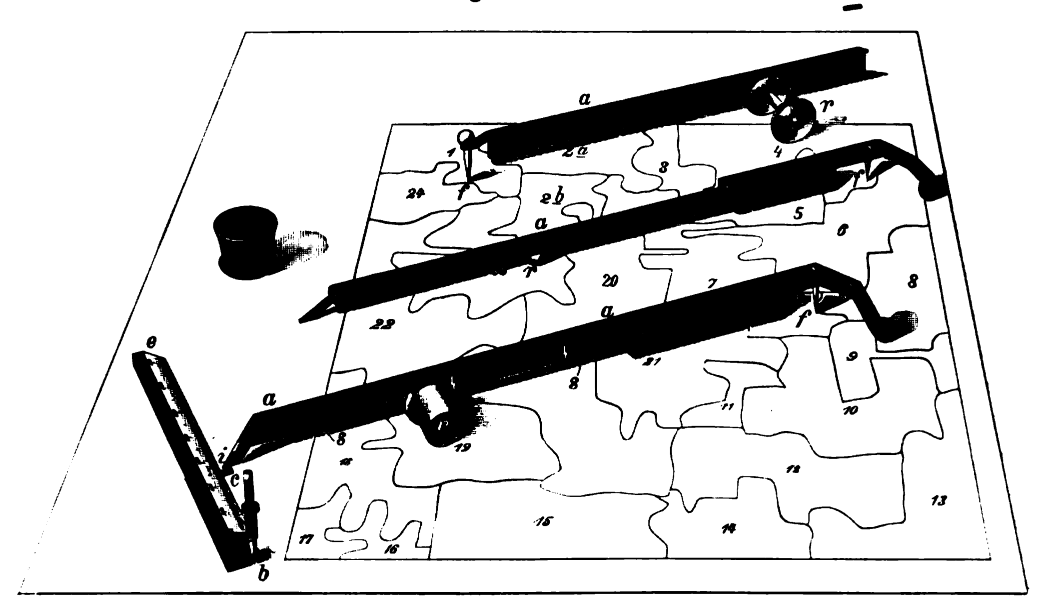


Fig. 1.

Dieser Wert bedarf aber wenigstens für größere Flächen und genaue Rechnungen noch einer kleinen Korrektion, welche hauptsächlich von Φ selbst, zu einem Bruchteil aber auch von einer Verhältniszahl v abhängig ist. v ist für alle näherungsweise rundlichen oder quadratischen Figuren gleich eins, wird aus der Lage des Stabes zur Figur geschätzt und ist das Verhältnis ihrer ungefähren Länge in der Stabrichtung zur Ausdehnung in der gegen den Stab senkrechten Richtung. Für die Multiplikationskonstante 10 (Rollenabstand vom Stift 20 *cm*) gilt die folgende Korrektionstabelle, welche hier nur teilweise wiedergegeben ist. Argumente sind in 1:1000 die Fläche Φ in Ar und das abzuschätzende v, die Korrektionen bedeuten Quadratmeter.

Tabelle 1.

$^1/_{100}\,\Phi =$

v	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4:1	− 10	− 12	− 15	− 17	− 20	− 20	− 10	0	10	15
3:1	− 10	− 12	− 14	− 16	− 16	− 12	− 3	7	13	18
2:1	− 9	− 10	− 13	− 13	− 12	− 6	3	11	17	22
1:1	− 7	− 7	− 10	− 8	− 3	6	15	25	36	52
1:2	− 2	5	5	8	15	24	40	62	87	125
1:3	5	8	12	16	24	43	68	85	126	180

[1]) Der in Fig. 1 abgebildete Maßstab *be* stellt eine ältere Ausführungsform dar; auch fällt die bei *b* ins Papier gesteckte Kopiernadel, wie auch aus der obigen Beschreibung hervorgeht, jetzt fort.

Die Verhältniszahlen *v* sind in Spalte 1 von 4 bis $^1/_3$ aufgeführt. Wie es beim Polarplanimeter bekanntlich gewisse günstige Anlagen gibt, die ein besonders genaues Resultat erwarten lassen, so auch hier. Die Tab. 1 gibt nun über diese wichtige Frage Auskunft und läßt deutlich erkennen, daß man bei größeren, stark unregelmäßigen oder sehr länglichen Figuren auf ein genaueres Resultat rechnen darf, wenn der Stab in die Richtung des größten Durchmessers der Fläche gelegt wird, also wenn $v > 1$ ist, denn ein Irrtum im Schätzen von *v* bedeutet dann nur einen sehr geringen Fehler in der Korrektion. Als Beispiel des Rechnungsganges und der Benutzung von Tab. 1 diene eine Berechnung der Parzelle 8 in Fig. 1, deren Fläche im Maßstab 1 : 1000 den Sollwert 4347 *qm* hat, wenn *v* zu $^1/_2$ geschätzt wurde:

zehnfache Ablesung:	4325
Korrektion:	10
Flächeninhalt Φ:	4335

Ein erheblicher Fehler in *v* würde das Resultat höchstens um 5 bis 8 *qm* oder um ± 0,2 Prozent verändern.

Die Rolle kehrt bei kleinen Figuren regelmäßig, bei größeren ausnahmsweise nicht wieder genau zur Marke zurück. Man schätzt diese Abweichung Δ in *mm*, um mit ihr und der Fläche Φ aus folgender Tabelle eine Korrektion zu entnehmen[1]):

Tabelle 2.

$^1/_{100}\,\Phi =$

Δ	50	60	70	80	90	100	110
− 0,75	0	0	− 7	− 17	− 18	− 19	− 22
− 0,5	0	0	− 3	− 9	− 11	− 12	− 14
− 0,25	0	0	− 2	− 5	− 6	− 6	− 7
+ 0,25	0	6	10	10	10	10	10
+ 0,5	7	15	20	20	22	22	23
+ 0,75	20	30	43	45	50	54	56

Hier ist der Wert Δ in Millimeter als negativ bezeichnet, wenn die Rolle nach der Umfahrung dem Fahrstift näher steht und umgekehrt; er wird, streng genommen, auch bei großem Φ dann zu Null, wenn die Halbierungslinie des Winkels, den die Anfangs- mit der Endstellung des Stabes macht, etwa durch den Schwerpunkt der Figur geht. Daher kann man bei der Berechnung großer Flächen (über Handgröße) zunächst eine ganz oberflächliche Probeumfahrung machen, um zu sehen, ob Δ annähernd verschwindet. Ein solcher Versuch würde einer mit dem Polarplanimeter auszuführenden, ähnlichen Probe, ob sich die Figur rechnen läßt, entsprechen. Andererseits lehrt aber ein Blick auf Tab. 2, daß diese Korrektion bei negativem Δ klein (nur — 0,1 Prozent der Fläche) ist und vernachlässigt werden darf. Hierauf stützt sich die einfache Regel, den Stab so anzulegen, daß seine Verlängerung eine größere Figur entweder halbiert, oder daß der dem Rechner zugekehrte Flächenteil der größere wird, und zwar bis zu $^2/_3$ der ganzen Fläche.

Ein Vorteil gegenüber dem Polarplanimeter ist der schnelle Wechsel der Multiplikationskonstanten 5 bezw. 10, ohne Schrauben lösen zu müssen. Figuren bis zu 30 *cm* Länge werden mit einer Umfahrung gerechnet; sind sie größer als etwa 2 *qdcm* oder so unregelmäßig, daß *v* sich nicht annähernd schätzen läßt, so hat man sie in

[1]) Bei den 24 Berechnungen auf der Karte der Fig. 1 wurde die Tab. 2 nur einmal benutzt.

zwei Teilen gesondert auszumessen. Soll eine zweite Kompensationsumfahrung gemacht werden, so wähle man eine zur ersten etwa rechtwinklige Stellung des Stabes, um etwaige Ungenauigkeiten, die aus einer falschen Schätzung von v herrühren, zu beseitigen. Beim Polarplanimeter führt man oft eine Art von Repetitionsmessung aus, um die Ablesungsfehler möglichst unschädlich zu machen, indem man kleine Figuren bei fester Polstellung zweimal hinter einander umfährt, erreicht aber nur wenig Vorteil, weil die Rolle jedesmal denselben Weg macht. Dies letztere ist beim Planimeterstab nicht der Fall, sodaß der Vorteil voll ausgenutzt wird.

Für Berechnungen auf schlechtem Papier, oder falls die Rolle auf der Karte keinen Platz hat, weil die Figur am Rande liegt, läßt man die Rolle auf einem dem Planimeter beigegebenen Zinkplättchen im Format 5×10 *cm* laufen. Es reicht auch für große Flächen bis zu 20 *cm* Länge aus, weil die Rolle dem Polarplanimeter gegenüber nur den halben Weg des Fahrstiftes beschreibt. Hemmungen, welche die Führung des Fahrstiftes ungünstig beeinflussen, können beim Planimeterstabe nicht auftreten, wie sie bei verschiedenen Planimetern, besonders aber beim Lippincottschen Planimeter aus schräger Lage vom Fahrarm zum Polarm hervorgehen. Bei verjüngtem Kartenmaßstab, z. B. 1:2000, muß die Ablesungsdifferenz d am prismatischen Maßstab statt mit 5 bezw. 10 mit 20 bezw. 40 multipliziert werden. Sind aber die Konstanten keine runden Zahlen mehr, so wählt man andere Marken am Stabe oder einen geeigneten Anlegemaßstab.

Starkes Verbiegen des Stabes ist, wie Versuche lehren, auf die Leistungsfähigkeit und Genauigkeit ohne Einfluß, sodaß er auch ungeschulten Kräften gefahrlos in die Hand gegeben werden darf.

Die nun folgenden Genauigkeitsuntersuchungen stützen sich auf Berechnungen der in Fig. 1 dargestellten Karte mit 24 verschieden großen, sehr unregelmäßigen Figuren und einer Fläche von fast 12 *ha* in 1:1000. Zur Berechnung der Sollwerte wurde das Mittel (Spalte 2 des folgenden Formulars) aus drei Umfahrungen mit dem auf die Konstante 1 eingestellten freischwebenden Präzisionskugelplanimeter Coradi Nr. 612 (Preis 150 M.), einem Sammlungsstück der Geodätischen Abteilung der Landwirtschaftlichen Hochschule, gebildet. Sodann wurde jede Figur einmal (sehr kleine Figuren doppelt) mit dem Kompensationsplanimeter Coradi Nr. 2002 (Preis 65 M.), dessen Rollenschiefe beseitigt ist, umfahren. Die Summierung der Resultate ergab eine Abweichung von — 225 *qm* auf 119605 *qm*, welche proportional verteilt wurde. Die Differenz der reduzierten Werte gegen das Soll in Spalte 2 zeigt die dritte Spalte des Formulars. Um nun die Genauigkeit des Flächenstabes (Fig. 1, unten) mit der des bekannten Kompensationsplanimeters vergleichen zu können, wurde mit dem Stab Nr. 13 jede Figur, und zwar ebenfalls nur einmal unter Einstellung der Rolle auf die Multiplikationskonstante 10, bei sehr kleinen Figuren 5, umfahren und die Abweichung gegen das Soll (Spalte 2) jedesmal in Spalte 4 eingetragen. Zwei weitere, unter gleichen Bedingungen ausgeführte Berechnungen mit den Stäben Nr. 13 und 14 ergaben die Fehler der beiden letzten Spalten. Parzelle 20 wurde ihrer Form wegen stets in zwei Teile zerlegt. Die Flächensummierung zeigte für die beiden ersten Berechnungen Fehler von — 63 bezw. 6 *qm* gegen 119605 *qm*. Bei der einige Wochen später gemachten dritten Berechnung war die Karte um 0,1 Prozent eingegangen, während der Abschlußfehler — 127 *qm* betrug. Hier wurde der Stab absichtlich ungünstig, also mit $v < 1$, angelegt.

Nr.	Soll	Kompensationsplanimeter Coradi Nr. 2002	Planimeterstab			Nr.	Soll	Kompensationsplanimeter Coradi Nr. 2002	Planimeterstab		
			Nr. 13	Nr. 13	Nr. 14				Nr. 13	Nr. 13	Nr. 14
1	4198	+ 2	+ 13	+ 29	+ 26	13	4352	0	− 10	+ 38	0
2	7495	− 36	− 11	+ 7	− 11	14	2848	− 32	− 8	+ 2	− 24
3	1996	− 7	+ 7	− 4	− 4	15	5202	+ 22	− 5	− 5	+ 19
4	7985	− 30	− 9	+ 8	− 15	16	846	− 8	− 6	− 5	− 4
5	5296	+ 1	+ 19	− 31	− 19	17	955	− 3	− 4	− 7	0
6	6813	− 26	+ 8	+ 13	− 20	18	4326	+ 14	− 25	− 5	− 17
7	6814	− 8	+ 5	+ 29	+ 17	19	4539	− 2	+ 7	− 2	− 8
8	4347	+ 15	+ 11	− 3	+ 16	20	13175	+ 10	− 31	− 42	− 1
9	1777	+ 17	+ 5	+ 12	0	21	5442	+ 17	+ 2	− 8	+ 8
10	5974	+ 8	+ 21	− 14	+ 7	22	9304	+ 5	+ 4	− 21	− 11
11	1308	+ 15	+ 7	+ 2	− 2	23	6497	+ 9	− 22	+ 23	+ 33
12	5258	− 1	− 25	0	+ 6	24	2858	+ 18	− 16	− 10	+ 6

Jede der Berechnungen Spalte 3 bis 6 dauerte fast zwei Stunden, sodaß auf jedes Resultat etwa 4 Minuten entfallen. Bezeichnet man mit μ den mittleren Fehler einer *einzelnen* Flächenberechnung in *qm* im Maßstab 1 : 1000 und mit Φ die Fläche in *qm*, so ergibt sich aus obiger Zusammenstellung sowohl nach Spalte 3 für das Coradische Kompensationsplanimeter als auch nach 4 bis 6 für den neuen Flächenstab die gleiche Formel

$$\mu = \pm 0{,}2 \sqrt{\Phi}.$$

Die Formel drückt allgemein aus, daß beide Instrumente hinsichtlich ihrer Genauigkeit als gleichwertig anzusehen sind. Die Genauigkeit der teuren Präzisionsplanimeter im Preise von etwa 150 M. ist dagegen erheblich größer, sodaß man $\mu = \pm 0{,}1 \sqrt{\Phi}$ setzen darf. Die Ergebnisse obiger Berechnungen sind in Fig. 2 graphisch dargestellt. Die Fläche Φ in *qcm* ist als Abszisse und ihr berechneter mittlerer Prozentualfehler als Ordinate eingetragen. Die Parallele *1* zur Achse stellt ungefähr den Fehler des Prytzschen Stangenplanimeters nach einer vom geschätzten Schwerpunkt aus gemachten Umfahrung dar, Kurve *2* den mittleren Fehler des Kompensationsplanimeters von Coradi Nr. 2002 in Prozenten der Fläche, Kurve *3* (die ausgezogene Linie) den des neuen Flächenstabes und Kurve *4* den des freischwebenden Präzisionskugelplanimeters von Coradi, wie er sich aus der Berechnung von Spalte 2 für eine einzelne Umfahrung ergab.

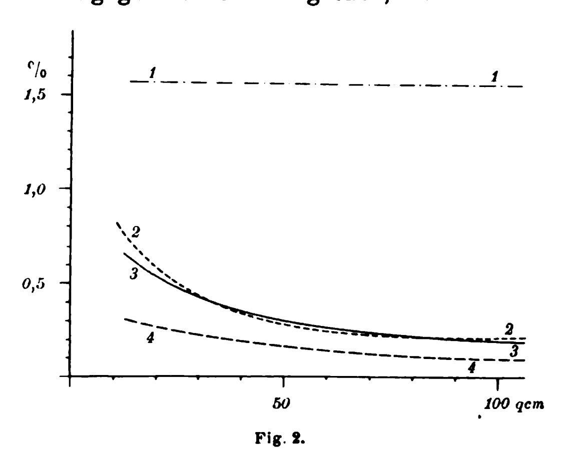


Fig. 2.

Theorie des Flächenstabes und die Bestimmung der mittleren Ordinate registrierter Kurven.

Der Flächenstab kann seiner Entstehungsweise nach als eine Vereinfachung des „optischen Planimeters“[1]) angesehen werden. Es sei in Fig. 3 *R* die Rolle und *U* der

[1]) Vgl. die Abhandlung des Verf. „Ein optisches Planimeter“. *Diese Zeitschr.* **31.** *S. 65. 1911.* Ferner A. Schmidt, „Ein Planimeter zur Bestimmung der mittleren Ordinaten beliebiger Abschnitte von registrierten Kurven“. *Diese Zeitschr.* **25.** *S. 261. 1905.*

Fahrstift des Stabes als Anfangspunkt der auszuwertenden Kurve UU_1. Denkt man sich über der Rolle senkrecht zum Stabe und zum Papier die spiegelnde Ebene des optischen Planimeters, so ist U der optische Umfahrungspunkt und Bildpunkt des Schnittes einer Linie l mit der Richtung RU (der Fadenlinie). Beim Planimeterstab tangiert die Stange die Rolle (Kugel) in R, sodaß sich der Stab in seiner Eigenrichtung noch einmal so schnell bewegt wie die Rolle und diese sich stets auf der Mitte zwischen dem festen Punkt F und dem Fahrstift befinden muß. Bei einer Drehung des Stabes ist der geometrische Ort von F im differentialen Sinne ein Kreisstück l, während man beim optischen Planimeter diese Kurve beliebig wählen kann. Die *a. a. O.* entwickelten Formeln lassen sich aber nicht ohne weiteres auf den Flächenstab anwenden, weil erstens die Linie l als Gerade angenommen wurde und zweitens wenigstens bei Benutzung einer Kugel RF etwas größer als RU ist. Der Stab tangiert in diesem Falle die Kugel, welche in der Rille etwas versinkt, in zwei Punkten, sodaß allgemein gesetzt werden kann

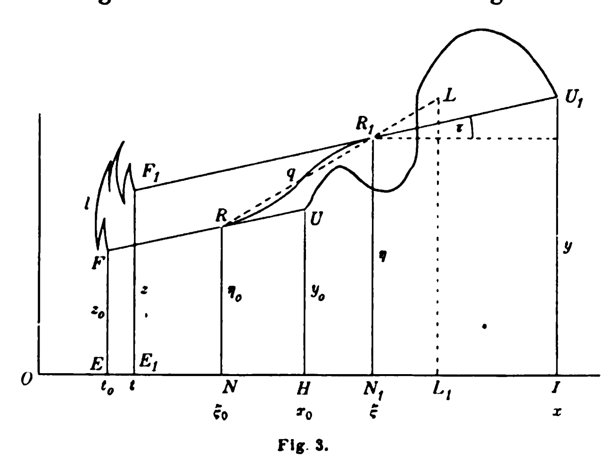


Fig. 3.

$$FR:RU = (\xi - t):(x - \xi) = F_1 R_1 : R_1 U_1 = n:1. \qquad 1)$$

Die in Wirklichkeit kreisähnliche Kurve l von der Gleichung $z = f(t)$ ist in Fig. 3 beliebig verzerrt, um eine anschauliche, geometrische Erklärung der folgenden Theorie zu geben. Als Evolvente des Rollenweges q, dessen Koordinaten η und ξ seien, besitzt sie Rückkehrpunkte, deren Zahl von der Form der auszuwertenden Kurve $y = f(x)$ abhängt. Nach Fig. 3 ist

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{d\eta}{d\xi} = \frac{y - \eta}{x - \xi}$$

oder

$$y\, d\xi = x\, d\eta + \eta\, d\xi - \xi\, d\eta\,.$$

Ersetzt man links $d\xi$ nach Gl. 1), so wird

$$\frac{n}{n+1}\, y\, dx = x\, d\eta + \eta\, d\xi - \xi\, d\eta - \frac{1}{n+1}\, y\, dt\,. \qquad 2)$$

Die Figur ergibt nun $\eta - z = n\,(y - \eta)$. Setzt man aus dieser Gleichung und aus Gl. 1) y bezw. ξ in die beiden letzten Glieder von Gl. 2) ein, so folgt

$$n\, y\, dx = x\, d\eta - \frac{n+1}{n}\, \eta\, dt - t\, d\eta + \frac{1}{n}\, z\, dt + (n+1)\, \eta\, d\xi\,,$$

oder durch Zerlegung

$$n\, y\, dx = d(\eta\, x) - d(\eta\, t) + \frac{1}{n}\, z\, dt + n\, \eta\, d\xi - \eta\,(dx - d\xi) - \frac{1}{n}\, \eta\, dt\,.$$

Ersetzt man nach Gl. 1) $dx - d\xi$ und integriert, so findet man die Flächenformel

$$\int_{x_0}^{x} y\, dx + \frac{1}{n}\, \eta_0\,(x_0 - t_0) = \frac{1}{n}\, \eta\,(x - t) + \frac{1}{n^2} \int_{t_0}^{t} z\, dt + \frac{n^2 - 1}{n^2} \int_{\xi_0}^{\xi} \eta\, d\xi\,. \qquad 3)$$

Diese Formel erklärt sich für $n = 1$ (scharfrandige Rolle) geometrisch folgendermaßen:

$$U_1 I H U + U H E F = U_1 I E_1 F_1 + F_1 E_1 E F\,. \qquad 4)$$

Somit ist bewiesen, daß die Figur

$$U_1 IEFRU = U_1 IEFF_1 \qquad 5)$$

ist. Berücksichtigt man, daß die Linie l in Wirklichkeit fast als ein Kreis mit festem Radius betrachtet werden kann, so hat man nur die durch Fingerdruck[1]) auf den Stab bezeichneten Punkte R und R_1 zu verbinden, diese Linie um RU über R_1 hinaus bis L zu verlängern und kann die mittlere Ordinate LL_1 abgreifen. Um genaue Resultate zu erhalten, sind jedoch die über die Anfangslage von RU für das optische Planimeter geltenden Regeln zu beachten (vgl. *a. a. O. S. 67 unten*).

Ist dagegen UU_1 eine geschlossene Figur mit dem Inhalt Φ (Fig. 4), also U mit U_1, I mit H identisch, so fällt für $n = 1$ die sogenannte Restfigur $\frac{n^2 - 1}{n^2} \int \eta \, d\xi = R q R_1$ heraus und Gl. 4) ergibt

$$\Phi + UHEF = UHEFF_1 = UFF_1 + UHEF \qquad 6)$$

oder $\Phi =$ Sektor UFF_1. Liegen RU und $R_1 U$ symmetrisch zur Schwerlinie, also auch q und l, so ist $RU = R_1 U$ oder $\Delta = 0$. Bei konstantem RU ist die Fläche Φ dem Winkel FUF_1 proportional, abgesehen von einer Korrektion betreffs der Flächenform. Die Tab. 1 ist durch graphische Integration verschieden geformter Figuren und bei wechselndem v mit Zuhilfenahme von Interpolation berechnet worden, sodaß sie auch die in Fig. 1 dargestellte Anlage des Maßstabes eb ($1 : m \cdot 1000$) und die Reduktion der Geraden $i i_1$, welche den Kreissektor FUF_1 mißt, berücksichtigt. Ist p der Abstand einer Marke vom Fahrstift, r der Radius der Rolle (Kugel), k die Multiplikationskonstante 5, 10 u. s. w. und w die Länge des Stabes iU, so gilt für p die Formel

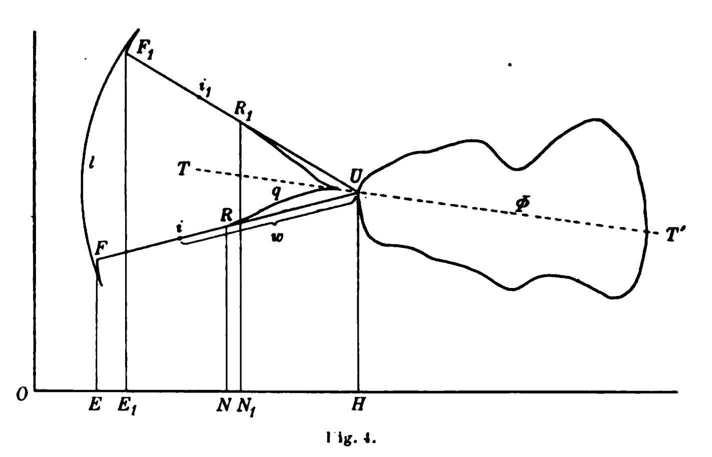


Fig. 4.

$$p = -r + \sqrt{\frac{10\,k\,m\,n\,w}{1+n}}.$$

Von einer theoretischen Reihenentwickelung[2]) für die Korrektionstabelle 1 ist an dieser Stelle abgesehen worden. Sinkt die Kugel bis zur Hälfte in die Stabrille ein, so ist $n = \infty$ und der Flächenstab wird zu einem Prytzschen Stangenplanimeter, dessen Leistungen die Restfigur q so sehr beeinträchtigt. Bei dem in Fig. 1 abgebildeten Kugelstab ist dagegen $n = 1{,}05$ und der Einfluß von q unschädlich.

Wenn hiernach mit dem neuen System die Genauigkeit der teuersten Präzisionsplanimeter zu über 100 M. auch nicht zu erreichen ist, so hat sich dem gegenüber gezeigt, daß der Flächenstab ebenso genaue Resultate ergibt wie das im Handel befindliche, aber doppelt so teuere Kompensations-Polarplanimeter.

Berlin, Königliche Landwirtschaftliche Hochschule, im März 1911.

---

[1]) Der scharfe Rollenrand drückt sich hierbei jedesmal ein wenig ins Papier ein.

[2]) Es dürfte hier eine ähnliche Entwickelung möglich sein, wie sie C. Runge in der *Zeitschr. f. Vermess.* **24.** *S. 321 u. flgde. 1895* für das Prytzsche Stangenplanimeter gegeben hat.

Polarisationsprismen aus Glas.

Von
H. Schulz in Friedenau-Berlin.

In allen bisher bekannten Formen von Polarisationsprismen ist stets ein doppeltbrechender Kristall benutzt, welcher gegenüber dem einfallenden Licht derart gelagert ist, daß die ordentliche Welle von der außerordentlichen räumlich getrennt und daß eine dieser Wellen vernichtet wird. Entsprechend seinen günstigen optischen Eigenschaften (große Differenz der Hauptbrechungsindices) ist bisher vorwiegend Kalkspat zu Polarisatoren benutzt worden; jedoch ist mit zunehmender Verwendung die Erlangung brauchbaren Materials so schwierig und damit der Preis ein so hoher geworden, daß Prismen von größerer Öffnung fast unerschwinglich geworden sind.

Auch bei den übrigen, infolge ihrer optischen Eigenschaften verwendbaren Kristallen liegt die Schwierigkeit vor, größere Stücke fehlerfreien Materials zu beschaffen. K. Feußner[1]) hatte vorgeschlagen, Natronsalpeter zu verwenden; doch ist seine Benutzung infolge seiner großen Wasserlöslichkeit beschränkt, obgleich seine optischen Eigenschaften günstiger sind als die des Kalkspats. Turmalin ist infolge seines starken Dichroismus ebenfalls nur in geringem Umfange verwendbar.

Soweit ein großes, möglichst gleichmäßig und vollständig polarisiertes Gesichtsfeld erreicht werden soll, wird es nie möglich sein, ohne Benutzung irgend welcher doppeltbrechenden Medien auszukommen. Zu Demonstrationszwecken jedoch oder beispielsweise zu Polarimetern geringerer Empfindlichkeit, bei welchen die Polarisatoren meist in nahezu parallelem Licht benutzt werden, ist es möglich, die Polarisation bei Reflexion an isotropen Medien auszunutzen. Es ist bekannt, daß natürliches Licht sowohl bei der Reflexion als bei der Brechung teilweise linear polarisiert wird. Benutzt sind bisher beide Arten, die erste bei dem Nörrenbergschen Apparat, die zweite in den Glasplattensätzen. Hat die Polarisation durch Brechung an einer ebenen Fläche den Vorzug, eine große Helligkeit zu liefern, so ist der Nachteil der mangelhaften Polarisation bei einer geringen Anzahl brechender Flächen und der schlechten Bildqualität bei Benutzung einer größeren Anzahl von Platten nicht zu unterschätzen. Sind doch etwa 25 Platten notwendig, um vom durchgehenden Licht 90 Prozent linear zu polarisieren.

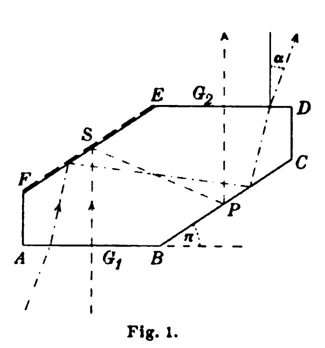


Fig. 1.

Das *reflektierte* Büschel ergibt bei einem bestimmten Winkel *vollständige* Polarisation; doch hat neben der geringen Helligkeit die Ablenkung des polarisierten Büschels bisher eine weitere Verwendung ausgeschlossen.

Für einen speziellen Zweck hat nun schon Stolze[2]) einen Glaskörper konstruiert, welcher das Licht linear polarisiert und die Winkelablenkung aufhebt. Eine Parallelverschiebung bleibt, wie Fig. 1 zeigt, bestehen. Der Winkel π des Prismas $ABCDEF$ ist so gewählt, daß der senkrecht durch AB und DE gehende Strahl unter dem Winkel totaler Polarisation an BC reflektiert wird, während die Fläche EF versilbert ist, um eine allzu starke Schwächung des Lichtes zu vermeiden.

---

[1]) *Diese Zeitschr.* **4.** *S. 41. 1884.*
[2]) *Atelier d. Photographen 1895. S. 140.*

Wird nun noch eine reflektierende Fläche eingeführt, so ist es leicht, auch die Parallelversetzung der Strahlen aufzuheben, wie aus Fig. 2 hervorgeht. Bei dieser Form tritt der Zentralstrahl bei G_1 senkrecht in den Glaskörper ein, wird an den versilberten Flächen S_1 und S_2 so reflektiert, daß er bei G_2 senkrecht austritt und bei P unter dem Winkel totaler Polarisation reflektiert, wobei die Lage der Fläche P durch den Brechungsindex des benutzten Materials bestimmt wird.

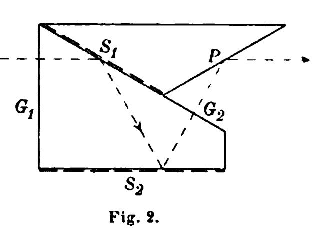


Fig. 2.

Man könnte zunächst geneigt sein, die Formen der Fig. 1 und 2 als gleichwertig anzusehen; doch ist leicht nachzuweisen, daß das Prisma der Fig. 2 wesentliche Vorteile bietet. Ich möchte zunächst auf die Polarisationsverhältnisse eingehen. Der Zentralstrahl ist in beiden Fällen vollkommen polarisiert. Für die Strahlen, welche eine geringe Neigung gegen diesen Zentralstrahl aufweisen, ist der Polarisationszustand bei den beiden Prismenformen verschieden.

Bezeichnet α den Winkel, welchen der eintretende Strahl mit den Normalen der Flächen G_1 und G_2 bildet, so ist der Polarisationszustand dieses Strahles gekennzeichnet durch Angabe der Größe der Amplituden für die Schwingungen parallel und senkrecht zur Einfallsebene. Sind die Amplitudengrößen nach Austritt aus dem Prisma gegeben durch a_1 und a_2, so ist ein Maß für die Güte der Polarisation

$$P = \frac{a_1^2 - a_2^2}{a_1^2 + a_2^2}.$$

Ist also nur eine Komponente vorhanden, d. h. ist der Strahl vollkommen linear polarisiert, so wird $P = 1$, sind beide Komponenten gleich, wie bei natürlichem oder zirkular polarisiertem Licht, so wird $P = 0$.

Bei dem Prisma der Fig. 1 ist nun

$$a_1 = \sigma_1 \sqrt{1 - \varrho_1^2} \qquad a_2 = \sigma_2 \sqrt{1 - \varrho_2^2} ,$$

wobei die σ-Werte sich auf die polarisierende Reflexion in Glas an Luft, die ϱ-Werte sich auf die darauf folgende Brechung an G_2 beziehen und die Fresnelschen Koeffizienten σ und ϱ in bekannter Weise als Funktionen von α zu berechnen sind.

Für das Prisma der Fig. 2 folgt entsprechend

$$a_1 = s_1 \qquad a_2 = s_2 ,$$

wo s_1, s_2 die Koeffizienten für die polarisierende Reflexion in Luft an Glas sind.

Die Veränderung der Amplituden durch die Reflexion an der Silberfläche ist nicht berücksichtigt, da ihr Einfluß nur gering ist und sich auf beide Komponenten ziemlich gleich verteilt.

Bezeichnet man die P-Werte für die Prismen der Fig. 1 und Fig. 2 mit P_1 bezw. P_2, so folgt für einen Brechungsindex von $n = 1{,}5$ und monochromatisches Licht

α Grad	P_1	P_2
− 10	0,65	0,86
− 5	0,93	0,96
0	1,00	1,00
+ 5	0,91	0,96
+ 10	0,54	0,86

Hieraus folgt, daß das erste Prisma eine unsymmetrische Polarisation des Gesichtsfeldes ergibt, welche schon bei $\pm 5^0$ merkbar wird, während für das zweite Prisma noch bei $\pm 10^0$ vollkommene Symmetrie herscht. Freilich ist bei noch größeren Winkeln auch bei dem zweiten Prisma eine Unsymmetrie zu bemerken, wie aus Fig. 3 hervorgeht, in welcher die Werte von P_2 in Abhängigkeit von α dargestellt sind.

Ferner zeigt das Prisma der Fig. 2 ein viel langsameres Abfallen des Prozentsatzes an linear polarisiertem Licht als das der Fig. 1. Der Grund hierfür, ebenso wie für die oben erwähnte Unsymmetrie, ist in der stärkeren Einschnürung der Büschel innerhalb des hochbrechenden Mediums des Prismas zu suchen, und diese Unsymmetrie tritt naturgemäß um so stärker hervor, je größer der Brechungsindex des verwendeten Materials ist. Andererseits ist ein möglichst hoher Index erwünscht, um die Intensität des reflektierten Lichtes zu erhöhen. Während beim Brechungsindex 1,5 die Intensität

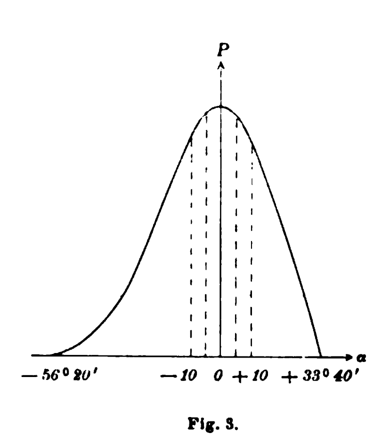


Fig. 3.

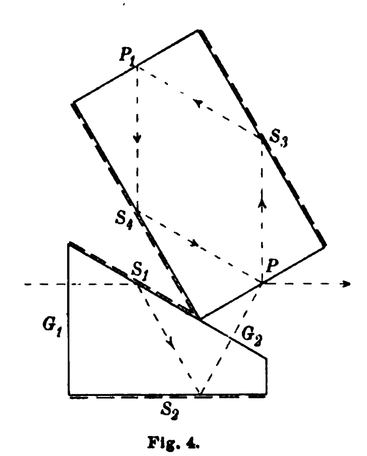


Fig. 4.

des reflektierten polarisierten Lichtes etwa 7 Prozent des einfallenden ist, werden für $n = 1{,}8$ im Polarisationswinkel 14 Prozent reflektiert. Eine obere Grenze für den Brechungsindex ergibt sich durch die Unbeständigkeit der hochbrechenden Gläser.

Der Nachteil derartiger Prismenkombinationen, daß auch bei Verwendung hochbrechender Gläser die Intensität nur etwa 10 Prozent des einfallenden Lichtes ist, während Polarisatoren aus Kalkspat (Nicolsche Prismen u. s. w.) je nach Konstruktion 25 bis 40 Prozent ergeben, läßt sich durch Vergrößerung der nutzbaren Öffnung zum Teil kompensieren, da ja in der Beschaffung hinreichend großer Stücke Glas keine Schwierigkeit liegt, zumal geringe Spannungen im Glase bei dem Prisma der Fig. 2 keinen merkbaren Einfluß haben können, weil die Polarisation *außerhalb* des Glaskörpers in der Luft erfolgt. Auch hier liegt ein Vorteil des letzteren Prismas gegenüber dem Stolzeschen Prisma begründet, bei welchem das polarisierte Licht durch Doppelbrechung im Glase noch modifiziert werden kann.

Eine Erhöhung der Intensität des polarisierten Lichtes läßt sich noch dadurch erreichen, daß das bei der letzten polarisierenden Reflexion in das Glas eindringende Licht durch ein Verstärkungsprisma (Fig. 4) gezwungen wird, den in der Einfallsebene polarisierten Bestandteil wenigstens teilweise dem direkt reflektierten beizumischen. Um das senkrecht zur Einfallsebene polarisierte Licht zu entfernen, wird noch eine polarisierende Reflexion bei P_1 eingefügt. Für einen Brechungsindex von $n = 1{,}5$ bezw. 1,8 ist dabei der Gewinn 5,4 bezw. 7,3 Prozent der einfallenden Intensität, sodaß insgesamt 12,7 bezw. 21,2 Prozent des einfallenden Lichtes verfügbar sind. Freilich ist zu bedenken, daß gegenüber diesem Gewinn an Intensität alle jene Nach-

teile in Betracht gezogen werden müssen, welche oben erwähnt sind, also unsymmetrische Polarisation, Unregelmäßigkeiten durch eventuelle Doppelbrechung innerhalb des Verstärkungsprismas und störende Doppelbilder wie beim Glasplattensatz, da nur für den im Winkel der totalen Polarisation verlaufenden Zentralstrahl die beiden polarisierten Bündel (das erste von der direkten polarisierenden Reflexion herrührende und das zweite aus dem Verstärkungsprisma austretende) zusammenfallen.

Man wird nicht fehlgehen, wenn man annimmt, daß für viele Zwecke ein Gehalt von 90 Prozent an linear polarisiertem Licht ausreicht. Dann liefert die oben vorgeschlagene Konstruktion einen Polarisator von etwa 15° Gesichtsfeld, dessen Anwendungsweise die gleiche ist wie bei Kalkspatpolarisatoren: ein eintretender Strahl weißen Lichtes tritt ohne Dispersion[1]) *unabgelenkt* und *ohne Parallelverschiebung polarisiert* aus. Es dürfte also die in Fig. 2 gegebene Form (D.R.P. Nr. 234108) geeignet sein, die teueren Kalkspatpolarisatoren teilweise zu ersetzen, zumal die äußere Form nicht wesentlich ungünstiger ist. Das Verhältnis nutzbare Öffnung zur Gesamtlänge ist ungefähr 1:3, wie es auch bei den meisten Konstruktionen der Kalkspatpolarisatoren der Fall ist.

Friedenau, Optische Anstalt von C. P. Goerz, im März 1911.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1910.

(Schluß von S. 163.)

III. Arbeiten, betreffend Wärme und Druck.

1. Übersicht der laufenden Arbeiten[2]).

Im Laufe des Berichtjahres sind nachfolgende Prüfungen ausgeführt worden:

I. Thermometer.

7 400 ärztliche Thermometer,
815 feine Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,01°, geprüft in Temperaturen bis 100°,
1 061 Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,1°, geprüft wie die vorigen,
16 Insolationsthermometer,
72 Siedethermometer für Höhenbestimmungen,
84 Beckmannsche Thermometer,
99 Tiefseethermometer,
1 513 hochgradige Thermometer (100° bis 575°),
37 tiefgradige Thermometer, darunter 17 Pentanthermometer für Temperaturen bis −190°,

zusammen 11 097 Thermometer.

II. Elektrische und optische Temperaturmesser.

1133 Thermoelemente,
davon 897 aus Platin-Platinrhodium, 177 Konstantan-Silber, 48 Konstantan-Kupfer, 11 Konstantan-Eisen,
8 Millivoltmeter,
21 Widerstandsthermometer,
1 zugehörige Schaltung,

---

[1]) Das Prisma wirkt bezüglich der Brechungen bei G_1 und G_2 wie eine Planparallelplatte.
[2]) Wiebe, Moeller, Hoffmann, Disch, Meißner, Hebe.

35 optische Pyrometer nach Wanner,
6 zugehörige Rauchgläser,
67 Glühlampen } für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer,
50 Lichtschwächungen }
1 elektrischer Ofen,

zusammen 1322 Apparate.

Ferner
5 Quarzglas-Quecksilberthermometer.

III. Druck-Meßinstrumente.

1 Quecksilberbarometer,
16 Aneroidbarometer,
46 Manometer,
8 Indikatorfedern in 5 Indikatoren,

zusammen 71 Druck-Meßinstrumente.

IV. Apparate zur Untersuchung des Erdöls.

99 Petroleumprober,
356 Zähigkeitsmesser,
4 Siedeapparate für Mineralöle,

zusammen 459 Apparate für Erdöle.

V. Sonstiges.

7 Posten Legierungsringe für Schwartzkopffsche Dampfkessel-Sicherheitsapparate, zusammen 1279 Legierungsringe,
8 Verbrennungskalorimeter (Bestimmung des Wasserwerts auf elektrischem Wege),
93 Tiefseethermometer auf Druck bis 900 Atm.,
2 Junkerssche Kalorimeter,
6 Kohlenproben auf Heizwert, Wasser- und Aschengehalt,
1 Thermograph,

zusammen 117 Prüfungen verschiedener Art.

2. Thermometer.

Von den 11 097 Thermometern waren 2825, davon 2507 ärztliche Thermometer, wegen Nichteinhaltung der Prüfungsvorschriften unzulässig; 156 gingen beschädigt ein, 70 wurden bei der Prüfung beschädigt, sodaß im ganzen 3051 Thermometer = 27 % von den zur Prüfung eingereichten Thermometern zurückgewiesen werden mußten.

a) Ärztliche Thermometer[1]).

Von den ärztlichen Thermometern waren 36 % (gegen sonst 17 % im Mittel) unzulässig. Der Zuwachs ist darauf zurückzuführen, daß infolge des durch Verfügung der Bundesregierungen eingeführten Prüfungszwangs aus Bayern 2270 ärztliche Thermometer eingereicht wurden, die bis dahin von seiten der dortigen Krankenanstalten, beamteten Ärzte und Hebammen *ungeprüft* benutzt worden waren. Bei der amtlichen Prüfung ergaben sich hiervon (außer 180 beschädigten) 1351 Stück = 60 % als unzulässig; allein 560 darunter zeigten Abweichungen, welche um 0,61° zu niedrig bis 0,97° zu hoch waren. Dieses Ergebnis ist sicherlich ein Beweis für die Notwendigkeit einer Zwangsprüfung für derartige Thermometer.

Seit der Anwendung der neuen Prüfungsbestimmungen auf alle ärztlichen Thermometer vom 1. Januar 1910 ab sind die Prüfungsscheine mit Fehlerangaben gänzlich in Fortfall gekommen; statt dessen erhalten die zulässigen und innerhalb ± 0,1° C. richtig zeigenden ärztlichen Thermometer eine gedruckte Gebrauchsanweisung. Auch die Bezeichnung „Fehlerfrei" für ärztliche Thermometer mit weniger als 0,05° Abweichung vom Normalthermometer wird nicht mehr angewandt. Die Stempelung der ärztlichen Thermometer wird

[1]) Hebe.

jetzt bei der Reichsanstalt sowie bei den Prüfungsbehörden in Ilmenau und Gehlberg in übereinstimmender Weise ausgeführt, sodaß ein erkennbarer Unterschied nicht mehr besteht. Da auch die Gebührensätze bei allen 3 Prüfungsanstalten gleich hoch bemessen sind, so lassen die thüringer Fabrikanten ihre ärztlichen Thermometer zurzeit fast sämtlich in Thüringen selbst prüfen, wobei sie die Transportkosten ersparen. Die Abnahme der bei der Reichsanstalt geprüften ärztlichen Thermometer um mehr als 3000 Stück gegen das Vorjahr erklärt sich somit durch Abwandern der Thermometer nach den thüringer Prüfungsanstalten.

b) Laboratorium- und andere Thermometer[1]).

Die Gesamtanzahl der geprüften Laboratorium-, meteorologischen und gewerblichen Thermometer ist ungefähr die gleiche (8% mehr) wie im Vorjahre; einige Gruppen haben etwas abgenommen, andere dagegen zugenommen.

c) Nachprüfung der Normalthermometer.

Außer 2 neuen in $\frac{1}{50}$° geteilten Normalthermometern, von 25° bis 45° reichend, welche zur Prüfung von Kalorimeterthermometern dienen sollen und vollständig neu bestimmt werden mußten, sind Kontrollbestimmungen an verschiedenen Instrumenten vorgenommen worden: solche wurden nötig teils durch geringfügige Beschädigungen mit nachfolgender Reparatur, teils durch gelegentlich bei Prüfungen beobachtete Abweichungen.

Vergleichungen mit den im vorigen Bericht erwähnten neuen fundamental bestimmbaren hochgradigen Quecksilberthermometern aus Glas 59^{III} und aus Jenaer Verbrennungsröhrenglas sind ebenfalls ausgeführt worden.

d) Neue Jenaer Thermometergläser[2]).

Die Untersuchung der neuen Jenaer Thermometergläser ist weiter fortgesetzt worden. Zunächst wurden für zwei bewährte Glassorten die Abweichungen der Thermometer vom Wasserstoffthermometer in den Temperaturen 0° bis 100° ermittelt. Ferner sind die hier und in der Ilmenauer Fachschule angefertigten ärztlichen Maximumthermometer in längeren Zwischenräumen mit Normalen verglichen worden, wobei sich merkliche Veränderungen nicht ergeben haben.

3. Thermometer-Prüfungsstellen unter Kontrolle der Reichsanstalt[3]).

Im Laufe des Jahres 1910 wurden geprüft	in Ilmenau	in Gehlberg
ärztliche Thermometer	78116	27043
meteorologische, Laboratorium-, Fabrik-Thermometer	1502	—
häusliche Thermometer	151	—
zusammen	79769	27043

Der gegen 1909 sich zeigende Zuwachs an ärztlichen Thermometern ist auf den großen Bedarf der Krankenanstalten infolge des Prüfungszwangs zurückzuführen.

4. Manometer und Indikatoren[4]).

Es wurden 46 Federmanometer geprüft, und zwar

	23 Manometer für Drucke	bis	20 *kg/qcm*,
	17 „ „ „	über 20	„ 500 „ ,
	1 „ „ „	„ 20	„ 1000 „ ,
	5 Federvakuummeter,		
zusammen	46 Manometer (25 Stück im Vorjahre).		

Nachdem an der zweiten Druckwage der beschädigte Messingkörper durch einen solchen aus Stahl ersetzt ist, ist es jetzt gelungen, die Wage bis zu 1000 *kg/qcm* zu benutzen. Indessen scheint hierbei eine starke Abnutzung der Stempel bezw. der Buchsen einzutreten.

Die Versuche über die Genauigkeit der Druckmessung mit der Stückrathschen Druckwage sind zu Ende geführt und die Resultate dieser Untersuchung veröffentlicht worden (Anh Nr. 36). Es ergab sich, daß in dem Intervall von 20 bis 500 *kg/qcm* eine absolute Genauigkeit von $\frac{1}{2000}$ erreicht wird. Hierbei ist auch die vorübergehende Ausweitung berück-

[1]) Moeller, Disch.
[2]) Wiebe.
[3]) Grützmacher.
[4]) Wiebe.

sichtigt worden, welche die Zylinder durch die Druckwirkung erfahren (Anh. Nr. 37). Die Korrektionen, die wegen der Dehnung anzubringen sind, betragen für die Druckwagen der II. Abteilung bei einem Druck von 500 *kg/qcm* etwa — 0,4 *kg*, bei einem Druck von 1000 *kg/qcm* etwa — 1,5 *kg*.

In Gemeinschaft mit dem Schwachstrom-Laboratorium sind die im vorigen Bericht erwähnten Druckmessungen mit Widerstandsspulen fortgesetzt worden.

5. Apparate zur Untersuchung der Erdöle[1]).

Geprüft wurden

99 Petroleumprober,
356 Zähigkeitsmesser,
4 Siedeapparate,
zusammen 459 Apparate.

Die im vorjährigen Bericht erwähnte Vergleichung der Deutschen Normal-Petroleumprober mit den 4 im Besitz der Reichsanstalt befindlichen englischen Probern ist zu Ende geführt worden und hat ergeben, daß der Entflammungspunkt eines und desselben Öls von den englischen Petroleumprobern im Mittel um 2° C. niedriger angegeben wird als von den deutschen Probern (Anh. Nr. 40). Weitere Versuche dieser Art werden gegenwärtig von seiten des *National Physical Laboratory* zu Teddington bei London und des *Bureau of Standards* in Washington ausgeführt.

Um den Einfluß fehlerhafter Abmessungen auf die Angaben des Englerschen Zähigkeitsmessers zu untersuchen, wurden mit verschieden dimensionierten Ausflußröhrchen Versuche mit destilliertem Wasser und Öl angestellt[2]). Auf Grund dieser Versuche und mit Hilfe von theoretischen Überlegungen wurde ermittelt (Anh. Nr. 39), daß die Ausflußzeit von 200 *ccm* Wasser um etwa ± 1,5 Sek. und ein ermittelter Engler-Grad um etwa ± 3% vom normalen Betrage abweichen kann, falls alle Dimensionen gerade die nach den vorgeschriebenen Fehlergrenzen zulässigen Abweichungen haben. Ist die Abweichung der Ausflußzeit von 200 *ccm* Wasser kleiner als 1,0 Sek., wie es die Prüfungsbestimmungen für den Apparat vorschreiben, so unterscheidet sich der Engler-Grad um weniger als 2,3% vom normalen Wert.

6. Elektrische und optische Temperaturmessungen.

a) Thermoelemente[3]).

Es wurden geprüft Elemente aus

	1910	1909
Platin-Platinrhodium	897	928
Konstantan-Silber	177	94
„ -Kupfer	48	59
„ -Eisen	11	3
im ganzen:	1133	1084

Der Vergleich mit dem Vorjahre zeigt geringe Änderungen, nur bei den Konstantan-Silber-Elementen hat eine erhebliche Zunahme stattgefunden. Unter den Konstantan-Kupfer-Elementen befanden sich 28 Stück, bei denen der Kupferschenkel zugleich das Umhüllungsrohr bildete.

b) Widerstandsthermometer[3]).

Unter den 21 geprüften Instrumenten befanden sich 20 Platinthermometer, bei denen der Draht in Quarzglas eingeschmolzen war. Von diesen wurde eins für tiefe Temperaturen, eins für hohe und tiefe Temperaturen und die übrigen für hohe Temperaturen allein geprüft. Ein Thermometer besaß Nickeldraht als Widerstandsmaterial.

Die Untersuchung des von der Firma W. C. Heraeus in Hanau eingesandten Platindrahtvorrates für Widerstandsthermometer, durch die das Verhalten der aus dem gleichen Drahtvorrat hergestellten Quarzglaswiderstandsthermometer aufgeklärt werden sollte, ist zu Ende geführt worden. Es wurden fünf Drahtproben geprüft, und zwar 1 Probe von 0,04 *mm*, 2 Proben von 0,05 *mm*, 1 Probe von 0,10 *mm* und 1 Probe von 0,15 *mm* Drahtstärke. Aus mehreren Beobachtungen bei 0°, 100° und 445° C. wurden für jede Probe unter der Annahme,

---

[1]) Wiebe, Hebe.

[2]) Meißner, Hebe.

[3]) Lindeck, Hoffmann, Meißner.

daß der Schwefelsiedepunkt bei 444,71° C. liegt, die Konstanten α und β der quadratischen Beziehung $w = w_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$ ermittelt. Die Werte von α lagen bei den untersuchten Proben zwischen $3{,}956_5 \cdot 10^{-3}$ und $3{,}974_5 \cdot 10^{-3}$, die Werte von β zwischen $-5{,}85_1 \cdot 10^{-7}$ und $-5{,}88_6 \cdot 10^{-7}$. Die Konstante $\delta = -\frac{\beta \cdot 10^4}{\alpha + \beta \cdot 10^2}$ der Callendarschen Formel lag zwischen 1,494 und 1,504. Die kleinsten Werte von α, die auf geringere Reinheit des Materials deuten, wurden bei den dünnsten Drähten gefunden; doch ist nach den angegebenen Werten der Einfluß des Ziehens selbst bei den dünnsten Drähten kein sehr erheblicher.

Bei neun im Laufe des Jahres zur Prüfung eingereichten Quarzglaswiderstandsthermometern, bei deren Herstellung Draht aus dem untersuchten Vorrat von etwa 0,05 *mm* Stärke verwendet wurde, lagen die Werte von α zwischen $3{,}87_2 \cdot 10^{-3}$ und $3{,}93_9 \cdot 10^{-3}$, die Werte von β zwischen $-5{,}8_1 \cdot 10^{-7}$ und $-6{,}2_3 \cdot 10^{-7}$ und die Werte von δ zwischen $1{,}51_4$ und $1{,}61_4$. Durch das Einschmelzen in Quarzglas wird also der Wert von α erheblich erniedrigt, der von δ erheblich erhöht. Außerdem sind bei den Quarzglasthermometern die Schwankungen von α und δ erheblich größer als bei den untersuchten Drahtproben, obwohl letztere ganz verschiedene Drahtstärken besaßen. Bei den Drahtproben schwankte α um $0{,}018 \cdot 10^{-3} = 0{,}4_5$ % und δ um 0,01 = $0{,}6_5$ %, bei den Quarzglasthermometern dagegen betrugen die entsprechenden Größen $0{,}06_7 \cdot 10^{-3} = 1{,}7$ % und $0{,}10_0 = 6{,}7$ %.

Die Frage, ob die beobachtete mangelhafte Übereinstimmung verschiedener Platin-Quarzglasthermometer auf die Inhomogenität des verwendeten Drahtvorrates zurückzuführen ist, muß also verneint werden. Die Ursache für die Schwankungen der an Quarzglasthermometern beobachteten Temperaturkoeffizienten ist vielmehr darauf zurückzuführen, daß die Eigenschaften des Platindrahtes beim Einschmelzen in Quarzglas verändert werden, und zwar bei verschiedenen Thermometern in verschieden starkem Maße.

In ähnlicher Weise wie der Heraeussche Drahtvorrat wurde auch ein von der Firma G. Siebert in Hanau auf Ersuchen der Reichsanstalt eingesandter Platindrahtvorrat für Widerstandsthermometer untersucht. Es wurde für je eine Probe von 0,15 *mm*, 0,10 *mm* und 0,05 *mm* Drahtstärke die Größe der Konstanten α, β und δ ermittelt. Die Werte von α lagen bei den drei Proben zwischen $3{,}910_5 \cdot 10^{-3}$ und $3{,}914_0 \cdot 10^{-3}$, die Werte von β zwischen $-5{,}77_5 \cdot 10^{-7}$ und $-5{,}79_7 \cdot 10^{-7}$ und die Werte von δ zwischen 1,498 und 1,504. Die Drähte verschiedener Stärke zeigen hiernach gute Übereinstimmung der Temperaturkoeffizienten. Der Wert von δ stimmt mit dem sonst für reinstes Platin gefundenen überein; durch Vergleichungen mit Normalplatinthermometern zwischen 0° und 100° C. und bei 220° C. wurde auch festgestellt, daß für die Drahtproben die quadratische Beziehung zwischen Temperatur und Widerstand sehr genau erfüllt ist. Trotzdem ist der Wert des Temperaturkoeffizienten α niedriger als bei reinstem Platin, was insofern bemerkenswert ist, als bisher angenommen wurde, daß einem normalen Wert von δ auch stets ein normaler Wert von α entspricht.

Die Vergleichung der die Skale der Reichsanstalt repräsentierenden Platinthermometer für tiefe Temperaturen mit den Platinthermometern Pt_{III} und Pt_V des Leidener Kältelaboratoriums (Prof. Kamerlingh Onnes), die sich trotz ihrer Beschädigungen auf dem Transport zu den Messungen gut verwenden ließen, ist zum Abschluß gebracht worden, sodaß die Thermometer Pt_{III} und Pt_V nach Leiden zurückgesandt werden konnten. Ebenso sind die Widerstandsthermometer R_7 und R_8 der Reichsanstalt, die in Leiden an die dortige Skale an acht Punkten zwischen — 44° und — 221,5° C. angeschlossen wurden, der Reichsanstalt wieder übersandt worden; sie sind hier nochmals mit den Normalplatinthermometern der II. Abteilung verglichen worden. Die im Leidener Laboratorium und in der Reichsanstalt angestellten Messungen ergaben übereinstimmend, daß die Temperaturskale der Reichsanstalt mit derjenigen von Kamerlingh Onnes bei — 78° C. bis auf etwa 0,1° und bei — 190° C. bis auf etwa 0,2° C. übereinstimmt. Darüber, welche Abweichungen zwischen beiden Skalen an Punkten zwischen 0° und — 78° C. vorhanden sind, ergaben die Messungen keinen sicheren Aufschluß, da die verschiedenen Beobachtungen bei — 40° C. nicht in genügender Übereinstimmung sind.

Der Anschluß der Quecksilberthermometer an die platinthermometrische Skale wurde durch Vergleichungen zwischen 100° und 300° C. fortgesetzt.

c) Optische Pyrometer[1].

Es wurden geprüft: 35 Wanner-Pyrometer mit 6 Rauchgläsern, unter ihnen ein Pyrometer, das in ein eisernes Schutzgehäuse montiert war, ferner 67 Glühlampen und 50 Prismenlichtschwächungen für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer.

Die Untersuchung verschiedener roter Gläser auf ihre Brauchbarkeit für optisch-pyrometrische Zwecke wurde fortgesetzt. Zum Vergleich wurden herangezogen: einige alte Gläser der Reichsanstalt, die neuen, den Pyrometern im Handel beigegebenen und einige von der Firma Schott & Gen. in Jena für diesen Zweck zur Verfügung gestellte Gläser verschiedener Dicke. Die Messung der Durchlässigkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge ergab bei den letztgenannten Jenaer Gläsern einen außerordentlich steilen Abfall in dem Gebiete von 650 bis 620 $\mu\mu$. Da man sich andererseits nahe dem einen Ende des sichtbaren Spektrums befindet, ist ein verhältnismäßig schmaler Spektralbereich begrenzt. Infolgedessen dürften sich diese Gläser gut für optisch-pyrometrische Zwecke eignen. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

Die Prüfung verschiedener optischer Pyrometer, insbesondere solcher mit Lichtschwächungen, ließ es wünschenswert erscheinen, an Stelle der Extrapolation von Beobachtungen bis 1400° C. unmittelbare Messungen in höheren Temperaturen treten zu lassen. Ebenso machten die Beobachtungen an Seger-Kegeln die optische Messung von Temperaturen bis zum Platinschmelzpunkte und darüber hinaus nötig. Als sicherste Grundlage für alle diese Arbeiten erschien der Anschluß der optischen Pyrometer an die Schmelzpunkte des Goldes, Palladiums und Platins. Hierbei erwies es sich als zweckmäßig, die noch nicht hinreichend bekannten Helligkeitsverhältnisse der Strahlungen bei diesen drei Temperaturen von neuem zu bestimmen. Zu diesem Zwecke ist ein schwarzer Körper aus Marquardtscher Masse und mit Le Chatelierschem Elemente konstruiert worden, der bis etwa 1600° C. zu benutzen ist. Dieser Körper gestattete einerseits eine Vergleichung mit dem Lummerschen Körper bis 1400° C. und andererseits mit dem schwarzen Körper im Iridiumofen beim Gold- und Palladiumschmelzpunkte. Der größte Teil der bis jetzt ausgeführten Arbeiten erstreckte sich auf ein Studium dieses Körpers besonders hinsichtlich seiner Schwärze und auf die Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses der Strahlungen beim Palladium- und Goldschmelzpunkte. Ein endgültiger Wert konnte indessen hierfür noch nicht erzielt werden.

d) Seger-Kegel[2].

An Stelle der Messungen in der Reichsanstalt sind in diesem Jahre zum ersten Male in größerem Umfange Beobachtungen an keramischen Öfen der Praxis getreten. Hierzu boten durch ihr freundliches Entgegenkommen die Kgl. Porzellan-Manufaktur in Berlin und die Rheinischen Chamotte- und Dinaswerke zu Bendorf a. Rh., letztere auf Veranlassung ihres Generaldirektors Hrn. R. Wiegand, Gelegenheit. Die Messungen wurden in der Weise ausgeführt, daß gleichzeitig thermoelektrische Beobachtungen unter Zuhilfenahme eines Registrierpyrometers und optische mit dem Holborn-Kurlbaumschen Pyrometer angestellt wurden. Das Ergebnis war, daß die Seger-Kegel in den keramischen Öfen durchweg bei erheblich tieferen Temperaturen niedergingen als in den elektrischen Öfen der Reichsanstalt. So wurde gefunden:

Tabelle.

Kegel Nr.	im elektrischen Ofen	im keramischen Ofen	Differenz
2	—	1125°	—
3	—	1145	—
4	1225°	1160	— 65°
5	1225	—	—
6	1260	< 1200	> — 60

[1]) Brodhun, Hoffmann, Meißner.

[2]) Hoffmann, Meißner.

Kegel Nr.	im elektrischen Ofen	im keramischen Ofen	Differenz
7	1285°	1180°	— 105°
8	1305	1200	— 105
9	1335	1225	— 110
10	1345	1235	— 110
11	1360	—	—
12	1375	—	—
13	1395	1315	— 80
14	1415	1375	— 40
15	1435	—	—
16	1460	1405	— 55
17	1480	1410	— 70

Bei einer verhältnismäßig guten Übereinstimmung der in den verschiedenen keramischen Öfen gefundenen Werte zeigten sich also recht beträchtliche Unterschiede, die zum Teil 100° überschritten, gegenüber den in der Reichsanstalt gemessenen Erweichungstemperaturen. Worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind, ob auf die außerordentlich lange Erhitzungsdauer (etwa 60 Stunden) besonders in der Nähe der Erweichungstemperatur oder auf eine chemische Einwirkung der Ofengase oder der Flugasche, ist nicht mit Sicherheit zu sagen. Die Tatsache jedoch, daß die wirklichen Ofentemperaturen von den von der Reichsanstalt auf Grund der Beobachtungen am elektrischen Ofen angegebenen Erweichungstemperaturen so stark verschieden sind, schränkt die Bedeutung dieser Werte für die Praxis außerordentlich ein. Anders ist es dagegen für die Vergleichung verschiedener Seger-Kegel im elektrischen Ofen, der diese Zahlen in erster Linie dienen sollen, oder für Feuerfestigkeitsbestimmungen, bei denen ähnliche Verhältnisse wie bei der Prüfung der Kegel stattfinden: hier behalten die von der Reichsanstalt ermittelten Zahlen ihre uneingeschränkte Gültigkeit.

IV. Optische Arbeiten.

1. Photometrische Prüfungen[1].

Nachstehende Tabelle enthält die im Jahre 1910 ausgeführten photometrischen Prüfungen:

127 beglaubigte Hefnerlampen, davon
- 19 mit Visier,
- 58 mit optischem Flammenmesser,
- 29 mit Visier und optischem Flammenmesser,
- 2 mit Visier und Ersatzdochtrohr,
- 15 mit optischem Flammenmesser und Ersatzdochtrohr,
- 4 mit Visier, optischem Flammenmesser und Ersatzdochtrohr;

290 Kohlefadenlampen, davon
- 190 Normallampen für photometrische Zwecke,
- 100 in Dauerprüfung mit im ganzen 19470 Brennstunden;

3 Glühlampen, die in der Glashülle außer einem Kohlefaden etwas Quecksilber enthielten;

595 Metallfadenlampen, davon
- 378 Normallampen für photometrische Zwecke,
- 217 in Dauerprüfung mit im ganzen 188220 Brennstunden;

2 Bogenlampen mit Kohleelektroden;

17 Gasglühlichtapparate mit stehendem Glühkörper in Dauerprüfung mit im ganzen 5400 Brennstunden;

3 Gasglühlichtbrenner besonderer Konstruktion für stehenden Glühkörper;

11 Hängegasglühlichtapparate;

34 Armaturen für Hängegasglühlichtapparate;

1 Spiritusglühlichtlampe;

[1]) Brodhun, Liebenthal, Schönrock, Faßbender.

1 Grubenlampe;
2 Holophanglocken für Metallfadenlampen;
2 Metallreflektoren;
22 Gasglühlichtzylinder.

Die Anzahl der beglaubigten Hefnerlampen ist im Vergleich zum Vorjahre erheblich gestiegen (127 gegen 66). Im übrigen ist jedoch der Umfang der photometrischen Prüfungen etwa der gleiche wie im Vorjahre gewesen.

Sehr viel Zeit nahm die Prüfung der Normallampen für photometrische Zwecke in Anspruch, da vielfach *zwei* Lichtstärken, nämlich die Lichtstärke in einer bestimmten Ausstrahlungsrichtung und die mittlere Lichtstärke senkrecht zur Lampenachse, mehrfach außerdem noch die mittlere räumliche Lichtstärke bestimmt werden mußten. Die größte gemessene Lichtstärke betrug bei diesen Lampen im Berichtsjahre 610 HK.

Die Zahl der in Dauerprüfung genommenen elektrischen Glühlampen hat sich gegen das Vorjahr vermehrt (317 gegen 157 im Jahre 1909); dagegen hat sich die Gesamtzahl der Brennstunden im wesentlichen auf der Höhe des Vorjahres gehalten (207690 gegen 215680 im Jahre 1909). Auch in diesem Jahre gelangten vorzugsweise Metallfadenlampen zur Prüfung (217 gegen 100 Kohlefadenlampen). In den meisten Fällen war Wechselstrom vorgeschrieben. Die 100 Kohlefadenlampen wurden bei 220 Volt mit Gleichstrom einer Dauerprüfung bis zu 200 Brennstunden unterzogen. Unter den Metallfadenlampen ist eine Serie von 9 Lampen zu etwa 25 HK und 116 Volt, welche mit Gleichstrom in eine Dauerprüfung bis zu 7500 Brennstunden genommen wurden, wegen ihrer hohen absoluten Lebensdauer bemerkenswert.

Einen großen Zeitaufwand erforderten 34 Armaturen für Hängegasglühlicht. Diese waren in 3 Gruppen eingesandt, von denen jede in Verbindung mit einem mitgelieferten Gasglühlichtapparat vergleichenden Untersuchungen auf räumliche Lichtverteilung unterzogen wurde.

Die geprüfte Spiritusglühlichtlampe ist für Projektions- und photographische Zwecke bestimmt. Bei ihr wird die Flüssigkeit durch Preßluft (von etwa 0,6 Atm.) dem Vergaser zugeführt. Hinter dem Brenner ist ein Reflektor von 7,5 *cm* Öffnung angebracht. Die größte Lichtstärke in Richtung der Reflektorachse betrug 264 HK.

Bei den 22 Gasglühlichtzylindern handelte es sich um eine photometrische Vergleichung von Klarglaszylindern mit Zylindern aus dem sog. Euphosglas von grünlichem Farbenton. Die erste Serie von 10 Stück wurde unter Benutzung eines Gasglühlichtapparates mit stehendem Glühkörper geprüft. Bei der zweiten Serie von 12 Stück wurde eine röhrenförmige Kohlenfadenlampe in die verschiedenen Zylinder gesetzt.

2. Leuchtmittelsteuergesetz [1].

Aus Anlaß des Leuchtmittelsteuergesetzes ist die Reichsanstalt im Berichtsjahre nur selten in Anspruch genommen worden. Prüfungen von Lampen gemäß den im *Zentralblatt für das Deutsche Reich* **37.** *Nr. 61* dafür veröffentlichten Vorschriften waren nur einmal (11 Stück) auszuführen. Dagegen haben sich mehrfach Zollbehörden unter Einsendung von Proben mit Anfragen an die Reichsanstalt gewandt. Diese Anfragen bezogen sich in drei Fällen auf Kohlenstifte, in drei anderen auf elektrische Glühlampen.

Durch Erlaß des Herrn Reichskanzlers vom 14. Oktober 1910 (*Zentralblatt für das Deutsche Reich* **38.** *Nr. 45*) sind auch die Elektrischen Prüfämter ermächtigt worden, Prüfungen aus Anlaß des Leuchtmittelsteuergesetzes auszuführen. Alljährlich bis zum 1. Mai sollen sie über ihre diesbezügliche Tätigkeit an die Reichsanstalt berichten, die ihrerseits einen zusammenfassenden Bericht bis zum 1. Juni an das Reichsschatzamt zu senden hat.

Es ist zu erwarten, daß die Prüfung von Leuchtmitteln in bezug auf das Leuchtmittelsteuergesetz in Zukunft einen größeren Umfang annehmen wird.

3. Bestrebungen für die Festsetzung von Lichtnormalien [2].

Die Licht-Normalien-Kommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, in welche Prof. Liebenthal seitens der Reichsanstalt delegiert wurde, ist im Berichtsjahre zweimal zusammengetreten, nämlich am 12. März und 19. November. Außerdem fanden zahlreiche

[1]) Brodhun, Liebenthal.
[2]) Brodhun, Liebenthal.

Sitzungen der Unterkomitees statt. Von den Verhandlungen interessiert hier hauptsächlich der Beschluß, daß die seit dem Jahre 1907 bestehenden Vorschriften für die Bewertung von Bogenlampen beibehalten werden sollen, daß aber eine Änderung der Vorschriften für die Photometrierung wünschenswert sei. Eine Verständigung in bezug auf diese Änderung ist indessen noch nicht herbeigeführt worden. Ferner wurden im Verfolg der Kommissionsverhandlungen die im Jahre 1897 herausgegebenen Vorschriften für die Messung von Glühlampen einer umfassenden Umarbeitung unterzogen (*Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 302. 1910*), bei welcher wieder die mittlere Lichtstärke senkrecht zur Lampenachse als Maßstab für die photometrische Bewertung der Lampen zugrunde gelegt wurde. An diesen neueren Vorschriften sind in jüngster Zeit noch einige bisher nicht veröffentlichte Änderungen auf Grund von Einwänden, welche von anderer Seite erhoben wurden, vorgenommen worden. Diese dienen teils zur Vermeidung von Unklarheiten, teils zur Erweiterung der einen der beiden angegebenen Meßmethoden.

In bezug auf die in den letzten Berichten erwähnten, von England, Frankreich und Amerika ausgehenden Bestrebungen, eine neue Lichteinheit unter dem Namen „Internationale Kerze" einzuführen, ist zu bemerken, daß das britische Komitee der in St. Louis begründeten Internationalen Elektrotechnischen Kommission nach hierher gerichteten Mitteilungen die auf Einführung der neuen Lichteinheit gerichteten Bemühungen eingestellt hat. In Österreich haben die maßgebenden Kreise beschlossen, zunächst die Hefnerlampe als Lichtmaß beizubehalten und die Regelung der Frage einer internationalen Lichteinheit von der nächsten Zusammenkunft der Internationalen Lichtmeßkommission, die im Laufe des Jahres 1911 stattfinden soll, zu erwarten.

4. Prüfung von Quarzplatten[1].

Während des Jahres 1910 wurden 9 Saccharimeter-Quarzplatten zur Prüfung eingesandt, welche den an Saccharimeterquarze zu stellenden Anforderungen genügten.

5. Brechungsvermögen von Zuckerlösungen[2].

Die Bestimmungen der Brechungsexponenten reiner Zuckerlösungen sind, soweit die Bedürfnisse der Zuckerpraxis in Frage kommen, zum Abschluß gebracht worden. Diese umfangreichen Messungen wurden auf eine Anregung von seiten der Internationalen Kommission für einheitliche Methoden der Zuckeruntersuchung ausgeführt. Zur Ermittlung der scheinbaren Trockensubstanz von Zuckerfabrik-Produkten wird nämlich jetzt das Abbesche Refraktometer viel benutzt, und deshalb wurden zuverlässige Tabellen über den Zusammenhang zwischen Brechungsvermögen, Prozentgehalt und Temperatur von Zuckerlösungen gewünscht. Das Zucker-Refraktometer soll dann direkt mit einer für 20° C. gültigen Wasserprozent-Skale versehen, und es soll ferner eine Tabelle der Korrektionen aufgestellt werden, die an dieser Skale anzubringen sind, wenn man statt bei 20° bei anderen Temperaturen zwischen 10° und 35° arbeitet.

Tabelle 1.

$n_{20°}$	w	$n_{20°}$	w	$n_{20°}$	w	$n_{20°}$	w
1,3330	100	1,3639	80	1,3997	60	1,4418	40
1,3359	98	1,3672	78	1,4036	58	1,4464	38
1,3388	96	1,3706	76	1,4076	56	1,4509	36
1,3418	94	1,3740	74	1,4117	54	1,4555	34
1,3448	92	1,3775	72	1,4158	52		
1,3479	90	1,3811	70	1,4200	50		
1,3510	88	1,3847	68	1,4242	48		
1,3541	86	1,3883	66	1,4285	46		
1,3573	84	1,3920	64	1,4329	44		
1,3606	82	1,3958	62	1,4373	42		

[1]) Brodhun, Schönrock.
[2]) Schönrock.

In den beiden Tabellen sind die Resultate mit einer für die Zwecke der Zuckertechnik hinreichenden Genauigkeit zusammengestellt worden. Es bezeichnet n den auf Luft bezogenen Brechungsexponenten für Natrium-Licht und w den Wassergehalt, d. h. die Anzahl Gramm Wasser in 100 g Zuckerlösung.

Tab. 2 gibt die Differenzen der Brechungsexponenten n in Einheiten der fünften Dezimale zwischen 20° und den nebenstehenden Temperaturen t für die obenstehenden Wasserprozente w, wobei zu beachten ist, daß n mit wachsendem t abnimmt.

Tabelle 2.

t	w = 100	90	80	70	60	50	40	30
10	72	89	105	122	139	156	172	189
12	60	73	86	100	113	126	138	151
14	47	57	66	76	86	95	104	114
16	32	39	45	51	58	64	70	76
18	17	20	23	26	29	32	35	38
20	0	0	0	0	0	0	0	0
22	18	21	24	27	30	33	36	38
24	38	43	49	55	60	66	72	77
26	58	67	75	84	92	100	108	116
28	80	92	102	113	124	134	145	155
30	104	118	131	144	156	169	182	195
32	129	144	160	175	190	205	220	235
34	155	172	190	207	224	241	258	275
36	182	202	221	240	259	278	296	315

Um diese Differenzen in die entsprechenden Werte der Wassergehalt-Skale am Refraktometer umrechnen zu können, muß man noch den Temperaturkoeffizienten dn/dt der Brechung des Flintglases kennen, aus welchem das Doppelprisma am Refraktometer besteht; er soll noch bestimmt werden.

Für alle untersuchten Zuckerlösungen läßt sich die Abhängigkeit des Brechungsexponenten von der Temperatur völlig innerhalb der Beobachtungsfehler durch eine Form zweiten Grades

$$n = \alpha + \beta t + \gamma t^2$$

darstellen. Werden die Konstanten α, β, γ nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, so beträgt selbst bei der konzentriertesten, schon recht dickflüssigen und daher bereits schwierig zu untersuchenden Lösung von 65% Zuckergehalt der mittlere Beobachtungsfehler der einzelnen Messung in n nur elf Einheiten der sechsten Dezimale.

Während die Größen β und γ lineare Funktionen des Prozentgehaltes der Zuckerlösungen sind, scheint die Abhängigkeit der Konstante α (oder auch allgemeiner des Brechungsexponenten für eine bestimmte Temperatur) vom Prozentgehalt nicht durch eine einfache Form darstellbar zu sein. Um die betreffende Kurve entprechend der sonst erreichten hohen Genauigkeit in n auffinden zu können, müssen noch mehr Punkte festgelegt und daher eine weitere Reihe von Zuckerlösungen untersucht werden.

6. Dioptrische Prüfungen[1]. Auf ihr Lichtbrechungsvermögen wurden im Berichtjahre 15 Glasplatten und 3 Glasprismen untersucht. Außerdem wurden zwei rechtwinklige Glasprismen mit möglichster Genauigkeit auf Ebenheit der Flächen und Abweichung vom rechten Winkel geprüft. Bei einem Wollaston-Prisma aus Quarz wurde die Ebenheit und der Parallelismus der Endflächen untersucht. An 6 astigmatisch-periskopischen Brillengläsern wurden die Brennweiten und die Lage der Zylinderachse festgestellt.

[1]) Brodhun, Schönrock, Faßbender.

Der Objektivprüfungsapparat nach Prof. J. Hartmann wurde in Benutzung genommen und zunächst das Objektiv dieses Apparates, ein dreiteiliges apochromatisches Fernrohrobjektiv ohne sekundäres Spektrum nach Dr. König von etwa 90 *mm* Öffnung und 141 *cm* Brennweite, untersucht. Die Untersuchung erstreckte sich bisher auf die Bestimmung der sphärischen und chromatischen Aberration, des Astigmatismus auf der Achse, sowie der absoluten Brennweite nach der Hartmannschen Methode der extrafokalen Messungen. Daneben wurde die absolute Brennweite, sowie die sphärische Aberration mit dem Abbeschen Fokometer bestimmt, das zu diesem Zweck umgebaut wurde. Die Versuche sind noch nicht so weit abgeschlossen, daß die Genauigkeiten beider Methoden verglichen werden können.

7. Arbeiten m. d. Hartmannschen Objektivprüfungsapparat[1].

Für verschiedene optische Messungen hat es sich als notwendig herausgestellt, einen einigermaßen erschütterungsfreien sowie hinreichend temperaturkonstanten Beobachtungsraum zur Verfügung zu haben. Aus diesem Grunde wurde im Hauptgebäude einer der nach Norden zu gelegenen Kellerräume als optisches Beobachtungszimmer hergerichtet. In diesem sollen zunächst Messungen der Brechung von Flußspat und Quarz für ultrarote Strahlen ausgeführt werden.

8. Einrichtung eines Kellerraumes.

V. Chemische Arbeiten.

1. Verwitterung des Glases[2].

1. Die Untersuchung über die Methoden zur Messung der Verwitterbarkeit des Glases wurde mit Veröffentlichungen a) in der Zeitschrift für anorganische Chemie (Anh. Nr. 43), b) in den Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft (Anh. Nr. 42), c) in der Deutschen Mechaniker-Zeitung (Anh. Nr. 45) zum Abschluß gebracht.

2. Metallbeizen[3].

2. Über das Schwarzfärben von Kupfer und verkupferten Gegenständen mit der alkalischen Persulfat-Beize wurde eine Mitteilung in der Deutschen Mechaniker-Zeitung veröffentlicht (Anh. Nr. 45).

3. Chemische Probiermethoden für Glas[4].

3. Für die Zwecke einer groben chemischen Unterscheidung der mannigfaltigen Glasarten wurde eine Probiermethode ausgearbeitet, bei welcher man in einer halben Stunde Aufschluß über die Hauptbestandteile des Glases erhalten kann. Eine Mitteilung darüber in der Deutschen Mechaniker-Zeitung liegt vor (Anh. Nr. 44).

4. Chemische Probiermethoden für Metalle[5].

4. In ähnlicher Weise wie für Glas wurden chemische Probiermethoden zur schnellen Unterscheidung der Metalle und mannigfachen Legierungen ausgearbeitet; die Versuche darüber sind aber noch nicht abgeschlossen.

5. Analytische Versuche über das Gold[6].

5. Die schon 1908 begonnenen analytischen Versuche über die Goldlegierungen wurden fortgesetzt einerseits mit Rücksicht auf den Mangel einwandfreier Goldbestimmungen in Münzen, andererseits unter dem Gesichtspunkt der großen Veränderung in den mechanischen und elektrischen Eigenschaften, welche das Gold wie seine Legierungen durch kleine Verunreinigungen erfährt.

Die Herstellung von reinem Golde wurde vereinfacht. Das reinste käufliche Gold aus der Norddeutschen Affinerie ergab an Verunreinigungen: 0,012% Silber, 0,0015% Kupfer, 0,0033% Eisen.

Als Ursache für die Sprödigkeit fehlerhafter Goldmünzen wurde ein etwas höherer Bleigehalt (0,015%) ermittelt, als er in den normalen geschmeidigen Münzen durchschnittlich vorkommt. Eine Mitteilung von wesentlich analytischem Interesse befindet sich im Druck. Die Versuche werden fortgesetzt.

6. Wasseraufnahme durch Isolieröle[7].

6. Mit Rücksicht auf die Veränderungen von elektrischen Drahtwiderständen in Isolierölen wurden die 1908 begonnenen Versuche über die Wasseraufnahme dieser Öle fortgesetzt. Das unter dem Namen „Transformatorenöl“ im Handel vorkommende Produkt nimmt kaum

---

[1]) Brodhun, Faßbender.
[2]) Mylius.
[3]) Groschuff.
[4]) Mylius, Groschuff.
[5]) Mylius, Hüttner.
[6]) Mylius.
[7]) Groschuff.

mehr Wasser auf als Petroleum. Etwa zehnmal so viel vermag das einheitliche Benzol ($C_6 H_6$) aufzulösen. Wasseraufnahme bei 18°: Paraffinöl 0,003%, Petroleum 0,005%, Benzol 0,05%.

VI. Arbeiten der Werkstatt.

1. Herstellung von Apparaten u. s. w.

Außer einer großen Anzahl kleinerer Arbeiten und Reparaturen wurden die folgenden größeren Apparate fertiggestellt:

1 Kreuzsupport für eine Graviermaschine,
3 Tischstative mit Längsschlitten,
1 großes Spektrometer-Gehäuse,
1 Schrank zur Aufbewahrung von Normal-Widerständen unter konstanter Feuchtigkeit,
1 Temperaturbad für Widerstände,
1 fahrbarer Rahmen für Hochspannungs-Widerstände,
2 Feinstellungen an Drehkondensatoren,
1 Drehstrom-Transformator für 1,5 Kilowatt,
1 Torsionswage für Elektrizitätszähler,
2 große Parabolspiegel für funkentelegraphische Versuche,
1 Epsteinscher Apparat,
6 Stromwender,
1 große Marmorspule samt Wickel- und Meßvorrichtungen für die absolute Ohmbestimmung,
1 Schaltkasten für Wechselstrom-Messungen,
1 Wirbelstrombremse,
1 elektromagnetisches Zählwerk,
1 geschlitzte Spule für magnetische Untersuchungen,
8 Ellipsoide aus Eisen,
1 großes Kalorimeter für die Bestimmung der spezifischen Wärme von Gasen,
1 stählerner Zylinder für die Stückrathsche Druckwage,
1 Ätzvorrichtung für Glühlampen,
1 großes Photometrierstativ,
1 neigbarer Tisch für einen photographischen Apparat,
2 Ablesefernrohre samt Stativ,
1 Planspiegelfassung,
1 justierbare Fassung für Parallelspiegel.

2. Stempelungen.

Mit Beglaubigungs- und Prüfungsstempeln wurden versehen

72 Stimmgabeln beglaubigt,
15 „ gestempelt,
171 Widerstände und Normalelemente,
133 Stäbe und Blechstreifen für magnetische Untersuchungen,
10 Kalorimeter,
126 Hefnerlampen.

3. Neukonstruktionen und technologische Arbeiten[1]).

Konstruktionszeichnungen wurden angefertigt

für ein Stativ für Ablesefernrohre, ein Tischstativ mit Längsschlitten, einen Mikrometer-Stangenzirkel, ein elektromagnetisches Zählwerk.

Die Arbeiten der Werkstatt gaben Anlaß zu technologischen Untersuchungen nach zwei Richtungen.

Zunächst wurde durch Versuche festzustellen gesucht, inwieweit Hartgummi durch *Galalith* ersetzbar ist. Eine früher in der Reichsanstalt vorgenommene elektrische Prüfung dieses aus Magermilch hergestellten Stoffes hatte ergeben, daß er für viele Zwecke hinreichende Isolationsfähigkeit besitzt. Die Werkstatt interessierte aber auch noch die Frage nach den mechanischen Eigenschaften. Es wurden daher eingehende Versuche über die

[1]) Göpel.

Festigkeit des Galaliths und sein Verhalten gegen Feuchtigkeit angestellt. Sie gaben zahlenmäßigen Aufschluß darüber, daß Galalith beträchtliche Mengen Wasser aufzunehmen imstande ist und dabei seine im trockenen Zustande dem Hartgummi wesentlich überlegene Festigkeit vollständig einbüßt. Eine starke Quellung des Materiales ist damit verbunden. Die Folge dieses Verhaltens ist, daß Galalith auch im Dauergebrauch an der Zu- und Abnahme der Luftfeuchtigkeit teilnimmt und Formänderungen unterliegt, die von seiner Verwendung an *feineren* Instrumenten besser absehen lassen.

Die zweite Untersuchung betraf Versuche, das Blauanlassen der zu beglaubigenden Stimmgabeln statt in einem Luftbade in geschmolzenem Salpeter vorzunehmen. Die bisherige Einrichtung arbeitet zwar einwandfrei, aber sehr langsam und unökonomisch. Mit einer bei 218° C. schmelzenden, eutektischen Schmelze von Kali- und Natronsalpeter wurden zahlreiche Probefärbungen an Stahlkörpern und Stimmgabeln vorgenommen, die indes noch nicht voll befriedigen. Die Färbung großer Normalgabeln ist zwar in 2 bis 3 Minuten beendet, jedoch wird die Gleichmäßigkeit der Farbe immer noch durch Bildung von Luftbläschen auf dem Material in Frage gestellt, die stets Flecke in der Oxydschicht hinterlassen. Die Versuche sollen fortgesetzt werden.

Eine Anzahl Beizproben des chemischen Laboratoriums wurden auf ihre mechanische Haltbarkeit geprüft.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

(gez.) Warburg.

Anhang.

Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Allgemeines.

1. Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1909. *Diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 106—120, 140—160, 174—195. 1910.*
2. Prüfungsbestimmungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Teil A: Allgemeine Bestimmungen. *Zentralbl. f. d. Deutsche Reich* ***38.*** *S. 101—105. 1910.*
3. Internationaler Wert der elektromotorischen Kraft des Weston-Normalelementes. *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* ***12.*** *S. 1050. 1910; Physikal. Zeitschr.* ***12.*** *S. 39. 1911; Elektrotechn. Zeitschr.* ***31.*** *S. 1303. 1910; Zeitschr. f. Elektrochem.* ***17.*** *S. 65. 1911; diese Zeitschr.* ***31.*** *S. 20. 1911.*
4. Bekanntmachungen über Prüfungen und Beglaubigungen durch die Elektrischen Prüfämter. Titel, Vorbemerkungen und Inhalt zu Nr. 1 bis 46. — Nr. 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54. *Zentralbl. f. d. Deutsche Reich* ***37.*** *S. 1478. 1909;* ***38.*** *S. 64, 90, 245, 450, 489, 523, 533. 1910; Elektrotechn. Zeitschr.* ***31.*** *165—166, 402—403, 452—453, 731—732, 1095—1096, 1116, 1166—1168, 1188—1189. 1910.*

Abteilung I.

Amtliche Veröffentlichungen.

5. Grüneisen, Über die thermische Ausdehnung der Metalle. *Ann. d. Physik* ***33.*** *S. 33—64. 1910.*
6. Grüneisen, Über den Einfluß von Temperatur und Druck auf Ausdehnungskoeffizient und spezifische Wärme der Metalle. *Ann. d. Physik* ***33.*** *S. 65—78. 1910.*
7. Grüneisen, Einfluß der Temperatur auf die Kompressibilität der Metalle. *Ann. d. Physik* ***33.*** *S. 1239—1274. 1910.*
8. Scheel und Heuse, Über das Volumen von Quecksilbermenisken. *Ann. d. Physik* ***33.*** *S. 291—295. 1910.*

9. **Holborn** und **Baumann**, Über den Sättigungsdruck des Wasserdampfes oberhalb 200°. *Ann. d. Physik* **31.** *S. 945—970. 1910.*
10. **Valentiner**, Vergleichung der Temperaturmessung nach dem **Stefan-Boltzmann**schen Gesetz mit der Skale des Stickstoffthermometers bis 1600°. *Ann. d. Physik* **31.** *S. 275—311. 1910.*
11. **Henning**, Über ein Spektralpyrometer und einige optische Konstanten von Metallen. *Diese Zeitschr.* **30.** *S. 61—75. 1910.*
12. **Gehrcke**, Bemerkung zu der Abhandlung des Hrn. **Paul Gmelin**: Eindeutige Bestimmung von Wellenlängendifferenzen im **Michelson**schen Stufenspektroskop. *Ann. d. Physik* **33.** *S. 850—852. 1910.*
13. **Gehrcke**, Strahlen der positiven Elektrizität. *Zeitschr. f. Elektrochemie* **16.** *S. 581—583. 1910; Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 731—732. 1910.*
14. **Reichenheim**, Das magnetische Spektrum und das **Doppler**-Spektrum der Kanalstrahlen. (Nach gemeinsamen Versuchen mit E. **Gehrcke**.) *Zeitschr. f. Elektrochemie* **16.** *S. 583—585. 1910; Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 732—734. 1910.*
15. **Gehrcke** und **Reichenheim**, Das magnetische Spektrum und das **Doppler**-Spektrum der Kanalstrahlen. *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **12.** *S. 414—419. 1910.*
16. **Gehrcke** und **Reichenheim**, Bemerkung zu unserer Mitteilung: Das magnetische Spektrum und das **Doppler**-Spektrum der Kanalstrahlen. *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **12.** *S. 490. 1910.*
17. **Reichenheim**, Über die Spektra der Anodenstrahlen. *Ann. d. Physik* **33.** *S. 747—762. 1910.*

Private Veröffentlichungen.

18. **Warburg**, Friedrich Kohlrausch, Gedächtnisrede, gehalten in der Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft am 21. Oktober 1910. *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **12.** *S. 911—938. 1910.*
19. **Holborn**, Friedrich Kohlrausch †. *Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 211. 1910.*
20. **Scheel**, Grundlagen der praktischen Metronomie. XII, 168 S. Braunschweig, Vieweg & Sohn, 1911. (Sammlung: Die Wissenschaft, Bd. 36.)
21. **Scheel**, Friedrich Kohlrausch †. Nachruf. *Naturw. Rundsch.* **25.** *S. 153—154. 1910.*
22. **Scheel** und **Obergethmann**. Der Wert des mechanischen Wärmeäquivalents. Erläuterungen. (Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen.) *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **12.** *S. 477—478. 1910.*
23. **Scheel** und **Strecker**, Einheitsbezeichnungen. (Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen.) *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **12.** *S. 481—489. 1910.*
24. **Gehrcke**, Elektrische Strahlen in der Natur. *Die Umschau* **14.** *S. 543—545. 1910.*
25. **Henning**, Henri Victor Regnault. *Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 770—774. 1910.*

Abteilung II.

Amtliche Veröffentlichungen.

26. **Orlich**, Über eine Kompensation der Kapazität in großen Widerständen. *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **12.** *S. 949—954. 1910.*
27. **Giebe**, Präzisionsmessungen an Selbstinduktionsnormalen. *Diese Zeitschr.* **31.** *S. 6—20, 33—52. 1911.*
28. **Lindemann**, Die Energieverluste in mehrlagigen Spulen bei schnellen Schwingungen. *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **12.** *S. 572—589. 1910.*
29. **Schering**, Ein Apparat zur Prüfung von Dosenschaltern auf mechanische Haltbarkeit. *Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 291—293. 1910.*
30. **Rogowski**, Über die Streuung des Transformators. *Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 1033—1036, 1069—1071. 1910.*
31. **Rogowski**, Über die Streuung des Drehstrommotors. *Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 1292—1295, 1316—1319. 1910.*

32. **Günther Schulze**, Betrag und Kurvenform des Rückstromes im Quecksilbergleichrichter. *Elektrotechn. Zeitschr.* **31.** *S. 28—31. 1910.*
33. **Günther Schulze**, Bemerkungen zur Untersuchung der Wechselstromvorgänge in Aluminiumzellen. *Ann. d. Physik* **31.** *S. 1053—1062. 1910.*
34. **Lindeck**, Über eine Beziehung zwischen dem Temperaturkoeffizienten und dem spezifischen Widerstand einiger Metalle, insbesondere von Kupfer. *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **13.** *S. 65—71. 1911*; Bemerkung dazu. *Ebenda* **13.** *S. 281—282. 1911.*
35. **Gumlich und Rogowski**, Die Messung der Permeabilität des Eisens bei sehr kleinen Feldstärken („Anfangspermeabilität"). *Ann. d. Physik* **34.** *S. 235—257. 1911; Elektrotechn. Zeitschr.* **32.** *S. 180—184. 1911.*
36. **Wiebe**, Über die Genauigkeit der Druckmessung mit der Stückrathschen Druckwage. *Diese Zeitschr.* **30.** *S. 205—217. 1910; Zeitschr. f. kompr. u. fl. Gase* **13.** *S. 83—92. 1910.*
37. **Meißner**, Über den Einfluß der elastischen Dehnung des Hohlzylinders auf die Angaben der Stückrathschen Druckwage. *Diese Zeitschr.* **30.** *S. 137—139. 1910.*
38. **Wiebe**, Über Kompensationsthermometer. *Diese Zeitschr.* **30.** *S. 245—254. 1910.*
39. **Meißner**, Über den Einfluß fehlerhafter Abmessungen auf die Angaben des Englerschen Zähigkeitsmessers. *Chem. Revue ü. d. Fett- u. Harz-Industrie 1910. S. 202—209.*
40. **Wiebe und Hebe**, Vergleichende Prüfung englischer und deutscher Petroleumprober. *Petroleum* **5.** *Nr. 15. 1910. 5 S.*
41. **Hagen und Rubens**, Über die Änderung des Emissionsvermögens der Metalle mit der Temperatur im kurzwelligen ultraroten Spektrum. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1910. S. 467—487.*
42. **Mylius**, Über die Verwitterung des Glases. *Ber. d. Deutsch. Chem. Gesellsch.* **43.** *S. 2130—2137. 1910.*
43. **Mylius**, Die Eosinreaktion des Glases an Bruchflächen. II. Verwitterbarkeit schwerer Glasarten. *Zeitschr. f. anorgan. Chemie* **67.** *S. 200—224. 1910.*
44. **Mylius und Groschuff**, Mikrochemische Proben zur Erkennung der Glasarten. *Deutsch. Mech.-Ztg. 1910. S. 41—45.*
45. **Mylius**, Über die Verwitterung des Glases. Zweiter Teil. *Deutsch. Mech.-Ztg. 1910. S. 201—205.*
46. **Groschuff**, Über Metallbeizen. Zweite Mitteilung: Schwarzfärben von Kupfer und Kupferlegierungen mit alkalischer Persulfatlösung. *Deutsch. Mech.-Ztg. 1910. S. 134—138, 141—146.*

Private Veröffentlichungen.

47. **Leman**, Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und im Betriebe. *Deutsch. Mech.-Ztg. 1910. S. 101—107.*
48. **Leman**, Noch eine Präzisions-Libellenfassung. *Zeitschr. f. Vermess. 1910. Heft 24. 2 S.*
49. **Orlich**, Über Elektrizitätszähler. *Helios, Zeitschr. f. Elektrotechn.* **16.** *S. 225, 237. 1910.*
50. **Günther Schulze**, Primärelemente und Schwachstromakkumulatoren. *Helios, Zeitschr. f. Elektrotechn.* **16.** *1910.*
51. **Lindemann**, Über die Erzeugung schwach gedämpfter elektrischer Schwingungen durch Stoßerregung und ihre Verwendung in der drahtlosen Telegraphie. *Helios, Zeitschr. f. Elektrotechn.* **16.** *S. 10—13. 1910.*
52. **Schmiedel**, Reibung von Elektrizitätszählern mit rotierendem Anker und Einfluß der Reibung auf die Fehlerkurve. *Verhandl. d. Vereins z. Beförd. d. Gewerbfleißes 1910. S. 571, 655; 1911. S. 111.*
53. **Disch**, Das „Draka"-Hygrometer. *Deutsch. Mech.-Ztg. 1910. S. 124—126.*
54. **Meißner**, Ausgleichsformeln für Beobachtungen in gleichen Intervallen. *Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 587—591. 1910.*
55. **Schönrock**, Hans Heinrich Landolt. *Diese Zeitschr.* **30.** *S. 93—96. 1910.*
56. **Groschuff**, Chemie des Glases. *Keramisches Jahrbuch* **2.** *S. 103—116. 1910.*
57. **Groschuff**, Het stelsel olie-water. *Chemisch Weekblad* **7.** *S. 687. 1910.*

Referate.

Über das Nivellement der (französischen) Alpentäler und über die Messung und Veröffentlichung der Längenprofile der Wasserläufe.

Von Ch. Lallemand. *Compt. rend. des travaux du service des grandes forces hydrauliques.* **4.** *Paris 1911. Sonderabzug. 34 S. m. 1 Karte v. 5 Taf.*

Diese vom französischen Ackerbau-Ministerium herausgegebene Schrift des verdienstvollen Direktors des „*Nivellement général de la France*“ hier zu besprechen ist angezeigt, weil bei dem „*Nivellement éclimétrique*“ zu dem im Titel genannten Zweck zwei neue Typen von Eclimetern verwendet worden sind, die nebst ihrem Gebrauch in der Veröffentlichung ziemlich eingehend beschrieben werden.

Das neue allgemeine Nivellement von Frankreich ist bekanntlich in vier Stufen ausgeführt; bei allen vier Ordnungen ist ein Nivellier „*à lunette et à nivelle indépendante*“ mit Ablesung oder Einspielung mit Hilfe einer Prismenkombination gebraucht (dieser wesentliche Teil des Instruments ist von Klein und Lallemand entworfen, das Instrument von Berthélemy gebaut); als Latten dienten für die I. und II. O. die Goulierschen „Kompensationslatten“ (3 *m* lange bimetallische [Stahl-Messing] Lamellen, in Holz eingeschlossen, an denen der Beobachter täglich den Wert des Lattenmeters abliest), für III. O. eine Wendelatte von 3,2 *m* Länge, für IV. O. (erst in einzelnen Teilen von Frankreich begonnen, in den Hochgebirgsregionen noch nicht) eine zur Verlängerung eingerichtete Latte von ausgezogen 4,6 *m* Länge. Diese Nivellementslinien werden seit 1904 ergänzt durch Nivellierungen zum Studium der Gebirgswasserkräfte, durch die 1. längs und in unmittelbarer Nähe der Wasserläufe Festpunkte für alle künftigen Höhenmessungen geschaffen werden („Längennivellements der Täler“) und 2. die Längenprofile aller Flüsse und wichtigen Wildbäche aufgenommen werden sollen. Lallemand hat für nützlich gefunden, beide Aufgaben zu trennen. Das „*Längennivellement der Täler*“, jedem einigermaßen wichtigen Talweg folgend, ist in den tieferen Regionen durch „*geometrisches Nivellement*“ (der Name ist bekanntlich nicht genügend bezeichnend), mit horizontalen Zielungen, nur in den Hochtälern gelegentlich auch als „*eclimetrisches*“ Nivellement (mit geneigten Zielungen; im Deutschen ist diese Art zu nivellieren als „*Schrägnivellement*“ zu bezeichnen) durchgeführt. Dieses Schrägnivellement bleibt natürlich an Genauigkeit weit hinter dem Ergebnis des Nivellierens mit horizontaler Ziellinie zurück; trotzdem hätte es für den vorliegenden Zweck ausgereicht und wäre mit Rücksicht auf die Kosten dem gewöhnlichen Nivellieren vorzuziehen gewesen, wenn längs den zu nivellierenden Linien bereits einige Höhenpunkte als Festpunkte sicher bekannt gewesen wären, zwischen die hinein das Schrägnivellement hätte eingepaßt werden können. Da dies nicht zutraf, so ist für das „Nivellement der Täler“ das Schrägnivellement nur dort gebraucht worden, wo das Nivellieren mit horizontaler Ziellinie infolge der örtlichen Verhältnisse annähernd unmöglich wurde. Im Gegensatz dazu ist für die Aufnahme des *Längenprofils der Wasserläufe*, die sich nun auf die vom Nivellement der Täler gelieferten Festpunkte stützen kann, fast durchaus vom Schrägnivellement Gebrauch gemacht worden.

Für dieses Schrägnivellement sind zwei neue Eclimeter-Typen hergestellt worden:

1. ein „*Eclistadimeter*“ mit Zugrundelegung des von Lallemand angegebenen Kataster-Winkelmessungsinstruments (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **25.** *S. 123. 1905*);

2. ein „selbstreduzierendes“ Instrument dieser Art („*éclistadimètre auto-réducteur*“), dem das Sanguetsche Tachymeter zugrunde liegt. Beide Eclimeter sind selbstverständlich so eingerichtet, daß mit ihnen auch „geometrisch“ nivelliert werden kann. Mit den Instrumenten zusammen sind Wendelatten zu gebrauchen, die mit Dosenlibellen von 1 *m* Schliffhalbmesser vertikal gestellt werden.

Das Eclimeter mit entfernungsmessendem Fernrohr und Mikroskopablesung des Höhenkreises, das „Eclistadimeter“, von Ponthus & Therrode in Paris gebaut, ist in Fig. 1 abgebildet; ein Horizontalkreis fehlt, weil es sich nicht um Festlegung der Zielungen im

azimutalen Sinn handelt, im übrigen entspricht das Instrument einem Tachymeter. Das Fernrohr L ist um eine weit gegen das Okular zurückgelegte Horizontalachse drehbar (damit die Hebung und Senkung des Auges bei bedeutenden Änderungen des Höhenwinkels nicht groß wird). Als Vertikalkreis dient der feste Sektor S, der Ablesungen bis zu 30^g über und unter der Horizontalen ermöglicht; er ist in $0{,}1^g$ zerlegt, jeder Grad beziffert, durch Schätzung am Horizontalfaden des Strichmikroskops M liest man die Neigung der Zielung auf $^1/_{100}{}^g = 1^`$ ab. Übrigens ist die Ablesung nicht der einfache, sondern gleich der doppelte Neigungswinkel (d. h. die nach der Bezifferung von S nominellen Dezigrade sind in Wirklichkeit halbe Dezigrade), weil dieser doppelte Wert nachher für die Höhenberechnung gebraucht wird. Durch die Prismen R kann man vom Okular o_3 aus, unmittelbar neben dem Fernrohrokular o_1 und dem Mikroskopokular o_2, den Stand der Blase der Libelle N beobachten. Die Bezifferung von S geht für die Tiefenwinkel von 0 bis 60^g, für die Höhenwinkel von 200 bis 140^g. Der Anblick der S-Teilung im Mikroskop ist der von Fig. 2. Das Fernrohr hat Huygenssches Okular und Glas-Distanzmesserstriche mit dem Mikrometerwinkel $^1/_{100}$.

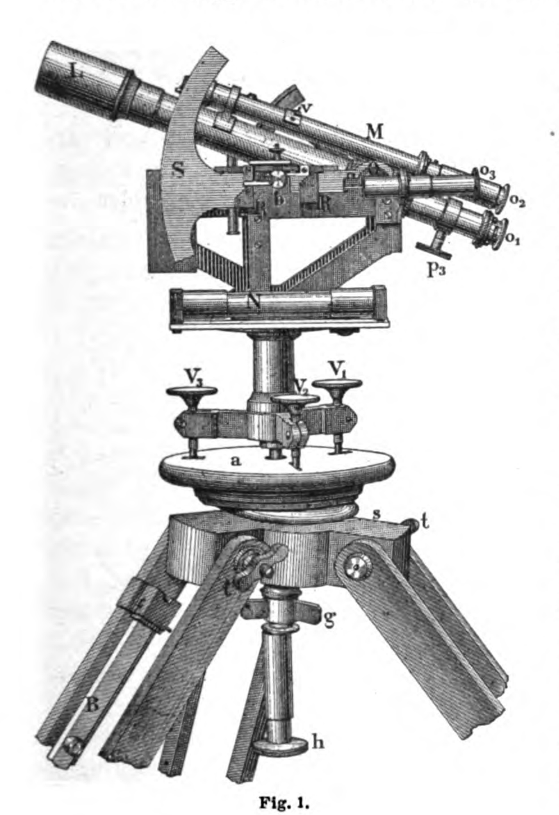


Fig. 1.

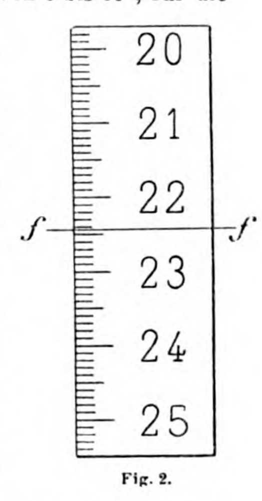


Fig. 2.

Das „selbstreduzierende“ Eclistadimeter (von Sanguet, 31 Rue Monge, Paris, gebaut) zeigt Fig. 3: es ist der Sanguetsche Entfernungsmesser kombiniert mit einem Höhenbogen S, in Halbdezigrade ($^1/_{20}{}^g$) zerlegt, der wieder durch das Mikroskop M abgelesen wird; die Bezifferung des Höhenbogens geht von 0^g bis 30^g für die fallenden, von 100^g bis 70^g für die steigenden Zielungen. Die Kippachse des Fernrohrs liegt hier weit vorn gegen das Objektiv zu; l ist der Hebel, an dem das Fernrohr bei der Entfernungsmessung gehandhabt wird; der Spiegel R dient zur Beobachtung der Libelle N. Das Fadenkreuz, auf einer der Linsen des Okulars selbst eingeschnitten, besteht hier aus einem Vertikalstrich und einem einzigen Horizontalstrich. Der Stativteller a ist mit sphärischer Kalotteneinrichtung versehen und gestattet mit einer kleinen Dosenlibelle rasche erste Horizontierung. Der zweite Unterstützungspunkt des Fernrohrs (außer der Kippachse O) ist eine in der vertikalen Kulisse C sich verschiebende Schneide.

Während bei dem ersten der genannten Instrumente die gewöhnlichen „Tachymeterablesungen“ und die Tachymeterformeln für die Horizontaldistanz in Betracht kommen, kann man am zweiten Instrument die Horizontaldistanz unmittelbar ablesen, je nach dem gewünschten Genauigkeitsgrad auf Grund von zwei, drei oder vier Ablesungen an der vertikalen Latte. Die Höhenunterschiede werden mit größeren Rechenschiebern ausgerechnet nach folgenden Gleichungen (unter Benutzung der in Deutschland meist gebrauchten Bezeichnungen): Höhenunterschied h zwischen den Punkten A und B, zwischen denen das Instrument steht,

1. beim Eclistadimeter:

$$h = (t_a - t_b) + k \cdot l_b \cdot \tfrac{1}{2} \sin 2\alpha_b - k \cdot l_a \cdot \tfrac{1}{2} \sin 2\alpha_a + c\,(\sin \alpha_b - \sin \alpha_a),$$

wobei c und k die Additions- und die Hauptkonstante des entfernungsmessenden Fernrohrs sind, l_b und l_a die zwischen den Distanzfäden erscheinenden Lattenabschnitte der in B und A vertikal stehenden Latte, t_b und t_a die Lattenablesungen am Mittelfaden, α_b und α_a die (gleich verdoppelt abgelesenen) Höhenwinkel der Zielungen über den Mittelfaden nach der Latte in B und in A;

2. beim selbstreduzierenden Eclistadimeter:

$$h = (t_a - t_b) + e_b \cdot \mathrm{tg}\,\alpha_b - e_a \cdot \mathrm{tg}\,\alpha_a,$$

wo e_b und e_a die hier unmittelbar am Instrument abzulesenden Horizontaldistanzen zwischen dem Standpunkt des Instruments und den Lattenstandpunkten B und A bedeuten.

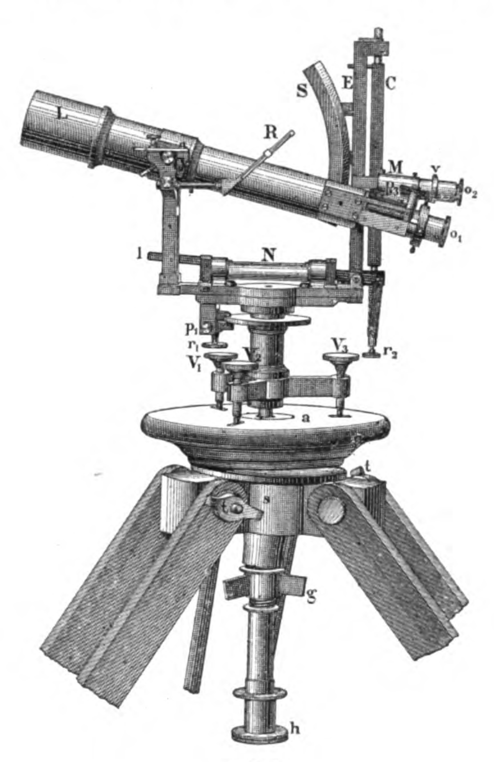


Fig. 3.

Von großem Interesse ist noch die nach zahlreichen Versuchen von Prévot durchgeführte Diskussion der Fehler des

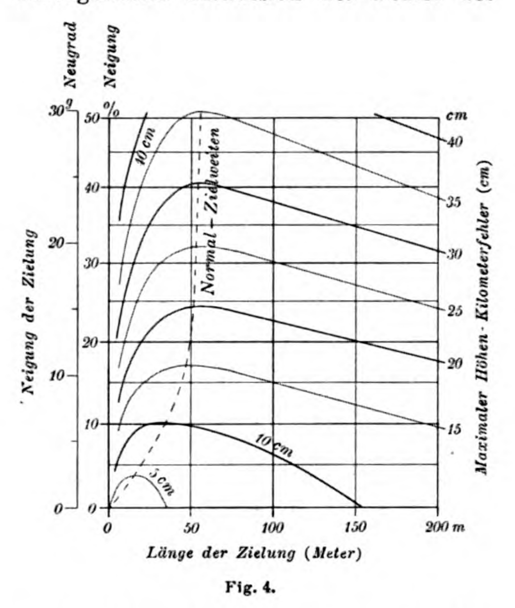


Fig. 4.

„eclimetrischen Nivellements", aus der sich bei Anwendung des ersten der oben genannten Instrumente (Eclistadimeter) folgendes ergab.

1. Der Höhen-1 Kilometerfehler des Schrägnivellements steigt rasch mit der Neigung der Zielungen; für Zielungen mit mehr als 10 Prozent Neigung ist der *km*-Fehler etwa proportional der Neigung;

2. für eine bestimmte Neigung ergibt sich das Minimum des kilometrischen Höhenfehlers mit einer ganz bestimmten Zielweite, der „Normalzielweite";

3. für einen bestimmten gegebenen maximalen Kilometer-Höhenfehler gibt es für die Zielungen eine bestimmte größte Neigung, die nicht überschritten und nur mit der Normalzielweite erreicht werden darf.

Diese Ergebnisse für das *Eclistadimeter* sind in der in Fig. 4 wiedergegebenen Figur des Verf. dargestellt, aus der unmittelbar abgelesen werden kann: der maximale Höhen-Kilometerfehler in Funktion der mittleren Länge und der mittleren Neigung der Zielungen, sowie die Normalzielweite, die einem bestimmten Maximal-Höhenkilometerfehler entspricht. Die zwei Argumente der Figur sind: die Neigung der Zielung (in zweierlei Form links an-

gegeben, in Neugraden [*g*] und in Prozenten, als Neigungsverhältnis) und die Länge der Zielung (in Meter unten angegeben). Die Isoplethen der Figur stellen in *cm* (von 5 zu 5 *cm* gezogen) den maximalen Höhen-1 Kilometerfehler vor. Man liest u. a. aus der Figur ab: damit der maximale Höhen-Kilometerfehler des Schrägnivellements 1 *dm* nicht übersteigt, dürfen jedenfalls keine Zielungen mit mehr als 10 Prozent Neigung vorkommen, und die Länge der Zielungen muß zwischen 20 und 50 *m* bleiben; für Neigungen über 15 Prozent oder jedenfalls über 20 Prozent ist die Normalzielweite ziemlich konstant = 50 *m* (bei der Ausführung der Messung wird man Zielweiten zwischen 40 und 70 *m* zulassen); aber selbst in diesem Fall der günstigsten Zielweite steigt der maximale 1 *km*-Höhenfehler auf 0,3 oder 0,4 *m*, wenn die Neigungen der Ziellinien 40 Prozent wesentlich übersteigen. Ein ähnliches Nomogramm für das zweite Instrument (selbstreduzierendes Eclistadimeter) zeigt, daß man, wenn der Höhen-Kilometerfehler 1 *dm* nicht überschreiten soll, nur Neigungen unter 15 Prozent anwenden darf und die Längen der Zielungen zwischen 30 und 100 *m* zu halten hat, und daß sich dieser mögliche Fehler auf 2 bis 3 *dm* hebt für starke Neigungen der Ziellinien bis 40 oder 50 Prozent.

Auf weitere *technische* Einzelheiten ist hier nicht einzugehen, ebensowenig auf statistische, die Kosten und den jetzigen Stand der Arbeit. Ich möchte aber auch in Deutschland, und nicht nur im Sinn der Instrumentenkunde, sondern auch im vermessungstechnischen und hydrographischen Sinn, auf diese Veröffentlichung von Lallemand aufmerksam machen.

Hammer.

Über den Wert der Pitotschen Konstante.

Von J. D. Fry und A. M. Tyndall. *Phil. Mag.* **21.** *S. 348. 1911.*

Die Pitotsche Röhre zur manometrischen Messung von Strömungsgeschwindigkeiten besteht in ihrer einfachsten Form aus einem rechtwinklig umgebogenen dünnen Rohr, dessen kurzer, offener Schenkel der Strömung entgegengehalten wird, während der andere Schenkel mit einem Manometer verbunden ist. Das Manometer, als welches im einfachsten Fall die in dem langen Schenkel emporsteigende Flüssigkeitssäule dienen kann, zeigt dann im idealen Grenzfall, in dem z. B. die strömende Flüssigkeit reibungslos sein müßte, genau die Summe des dynamischen Druckes und des statischen Überdruckes über die Umgebung an, in welche der lange Manometerschenkel führt. Der dynamische Druck ist dabei gleich $\frac{1}{2} v^2 \varrho$, wenn v die Strömungsgeschwindigkeit und ϱ die Dichtigkeit der Flüssigkeit bedeutet. Bei strömenden Flüssigkeiten mit freier Oberfläche ist der statische Überdruck nahe der Oberfläche gleich Null; handelt es sich um Gase, die in Röhren strömen, so kann man nach dem Vorgange von Péclet den statischen Überdruck dadurch eliminieren, daß man zur Druckmessung ein Differentialmanometer anwendet, das einerseits mit der Pitotschen Röhre, andererseits mit einer zweiten dünnen Röhre verbunden ist, deren Öffnung in der Ebene der inneren Wandung des durchströmten Rohres liegt, sodaß auf dasselbe nur der statische Druck des strömenden Gases wirkt. Dann ist aus der Anzeige p des Manometers die Geschwindigkeit des strömenden Mediums im idealen Grenzfall zu ermitteln gemäß der Gleichung

$$v = \sqrt{\frac{2p}{\varrho}}.$$

In praktischen Fällen ist diese Gleichung genau genommen zu ersetzen durch

$$v = K\sqrt{\frac{2p}{\varrho}},$$

wobei K ein von 1 wenig verschiedener Koeffizient, die „Pitotsche Konstante“ ist. Diese Konstante K nun haben die Verf. nach zwei verschiedenen Methoden bestimmt.

Die erste Versuchsanordnung bestand darin, daß die Pitotsche Röhre durch ruhende Luft mittels eines Rotationsapparates bewegt wurde. Der radial gerichtete längere Schenkel war während der Rotation mit dem einen Schenkel eines empfindlichen Differentialmanometers unter Vermittlung einer konzentrisch zur Drehungsachse angeordneten Öldichtung verbunden.

Der zweite Schenkel des Differentialmanometers stand mit einer ringförmigen Röhre in Verbindung, die dicht unter der kreisförmigen Bahn der Pitotschen Röhre lag und eine Reihe von Öffnungen besaß, sodaß in ihr der statische Druck der Luft herrschte, in der sich die Pitotsche Röhre bewegte. Der Radius der Kreisbahn betrug etwa 1,5 *m*.

Auf die Öffnung der Pitotschen Röhre wirkt bei der Rotation einerseits der dynamische Druck der äußeren Luft, andererseits ein demselben entgegenwirkender, durch die Zentrifugalkraft hervorgerufener Druck der Luft im Innern der Röhre. Der letztere Druck hat, wie leicht ableitbar ist, genau den Wert $\frac{1}{2}\varrho v^2$, wobei v die Geschwindigkeit der Öffnung der Pitotschen Röhre ist. Auf das Differentialmanometer wirkt daher nur der Druck

$$\frac{\varrho v^2}{2 K^2} - \frac{\varrho v^2}{2}.$$

Da v aus der Rotationsgeschwindigkeit des Apparates ermittelt werden kann, läßt sich aus der Anzeige des Manometers die Größe von K ableiten. Eine große Schwierigkeit besteht jedoch darin, daß durch die Rotation des Armes die umgebende Luft in Bewegung gesetzt werden kann. Die Verf. suchen dies dadurch, daß sie eine große Anzahl von radialen Zwischenwänden anbringen, die möglichst dicht an die Bahn der Pitotschen Röhre heranreichen, sowie durch ähnliche Schutzmaßregeln zu vermeiden. Wie weit diese Mittel wirksam sind, läßt sich aus den Versuchen der Verf. nicht entnehmen. Die Werte, die sie für K erhalten, weisen eine bemerkenswerte Unabhängkeit von der Rotationsgeschwindigkeit auf und ergeben im Mittel für Geschwindigkeiten von 0,6 bis 14 *m*/Sek. den Wert 1,002.

Die zweite Methode der Verf. bestand darin, daß die dynamischen Drucke in einem luftdurchströmten Rohr an mehreren Stellen ein- und desselben Querschnitts bestimmt wurden. Wenn man K als unabhängig von v ansieht, kann man durch Integration über den Querschnitt aus den an den verschiedenen Stellen gemessenen dynamischen Drucken die gesamte durch den Querschnitt fließende Menge Q bestimmen, die andererseits auch durch direkte Messung des durchströmenden Volumens bestimmt werden kann. Es ergibt sich so zur Berechnung von K die Beziehung

$$Q = \int_0^R K \sqrt{\frac{2 p_r}{\varrho}}\, 2 \pi r\, dr,$$

in der R den Radius des durchströmten Rohres und p_r den zu einem Radius r gehörigen dynamischen Druck bedeutet. Das bei den Versuchen verwendete Rohr hatte einen Durchmesser von 2,5 *cm* und eine Länge von etwa 45 *cm* und stand mit einem Gasometer in Verbindung, durch dessen allmähliche Entleerung die Luftströmung hervorgerufen wurde. Die Pitotsche Röhre hatte einen Durchmesser von 0,6 *mm*. Der statische Druck wurde nach der oben beschriebenen Pécletschen Methode eliminiert. Außer der dazu nötigen Öffnung war in der Rohrwandung eine größere Anzahl von Bohrungen vorhanden, um untersuchen zu können, ob das Druckgefälle in dem Rohr linear war, was bei linearer Strömung der Fall sein müßte.

Die Werte von K, die nach dieser Methode gewonnen wurden, sind nun aber nicht unabhängig von der Geschwindigkeit, sondern sinken mit abnehmender Geschwindigkeit bis auf 0,84 und erreichen erst bei einer Geschwindigkeit von etwa 20 *m*/Sek. den Wert 1. Auf die Beschaffenheit der Pitotschen Röhre ist diese Erscheinung nicht zurückzuführen, wie eine besondere Untersuchung der Verf. zeigt. Nach derselben ergeben sehr enge Pitotsche Röhren von etwa 0,1 *mm* Durchmesser einen um einige Prozent höheren Wert von K als weitere Röhren, was durch den überwiegenden Einfluß der Wandung bei den sehr engen Röhren erklärt werden kann. Eine sichere Aufklärung über die Ursache der beobachteten Abhängigkeit des Wertes von K von der Größe von v vermögen die Verf. nicht zu geben. Sie haben jedoch festgestellt, daß einerseits der Abfall des statischen Druckes in dem durchströmten Rohr nicht völlig linear war, und daß auch die Abhängigkeit des dynamischen Druckes von der Stellung der Pitotschen Röhre in dem untersuchten Querschnitt nicht der theoretisch zu erwartenden entspricht. Bedenklich müssen in dieser Hinsicht die geringen

Dimensionen des Rohres erscheinen, bei denen der Einfluß der Pitotschen Röhre auf die Strömungsverhältnisse nicht mehr ein verschwindender sein wird. Die Verf. selbst weisen ferner darauf hin, daß die Ermittlung des statischen Druckes eine unvollkommene sein könnte und dieser Fehler besonders bei kleinen dynamischen Drucken in Betracht kommen dürfte. Wenn sie an allen dynamischen Drucken eine Korrektion anbringen, die der Strömungsgeschwindigkeit proportional ist, so erhalten sie für K Werte, die für Geschwindigkeiten von 0,06 bis 20 *m*/Sek. um weniger als 1 Prozent von 1 abweichen.

Daß die Pécletsche Methode zur Eliminierung des statischen Druckes mit Unsicherheit behaftet ist, betont auch O. Krell jr. in einer von den Verf. nicht berücksichtigten Arbeit „Über die Messung von dynamischem und statischem Druck bewegter Luft“[1]). Es sind dort auch andere Methoden zur Eliminierung des statischen Druckes angegeben, nämlich die Stauscheiben von Krell sen.[2]), Rietschel und Prandtl. In dieser Arbeit teilt O. Krell jr. ferner auch Versuche mit, aus denen der Wert der Konstanten K zu entnehmen ist; er fand, daß beim Ausströmen von Wasser oder Luft der dynamische Druck, den eine in die *Mitte* des ausströmenden Strahls gehaltene Pitotsche Röhre anzeigt, um etwa 0,05 Prozent kleiner ist als der an der Ausströmungsstelle herrschende statische Druck. Daraus folgt, wenn man annimmt, daß die Umsetzung des Druckes in Geschwindigkeit verlustlos erfolgt, für die Konstante K der Wert 1,0002, andernfalls ein Wert, der noch näher an 1 liegt.

Nach allem wird man sagen können, daß bei der manometrischen Messung von Strömungsgeschwindigkeiten der Konstanten K mit hinreichender Genauigkeit der Wert 1 beigelegt werden kann. *Mfsr.*

Verbessertes Sphärometer nach Nugues.

Von J. Carpentier. *Compt. rend.* **152.** *S. 421. 1911.*

Bei der Bestimmung der Krümmungen sphärischer Flächen mit dem Sphärometer ist es nötig, den Radius des Kreises, in dem die Sphärometerfüße die Fläche berühren, genau zu bestimmen, da er mit der 2. Potenz in die Rechnung eingeht. Nun kann man praktisch die Füße nicht absolut spitz machen; sie besitzen meist eine mehr oder weniger abgerundete Form. Infolgedessen variiert der Radius des Berührungskreises mit der zu messenden Krümmung.

Nugues beseitigt diese Schwierigkeit dadurch, daß er die Füße mit Kugeln von gleichen Durchmessern versieht. Jede Kugelfläche, auf der das Sphärometer dann steht, ist konzentrisch zu einer Idealfläche, die durch die Mittelpunkte der drei Kugeln geht, und ihr Radius ist um den bekannten Radius der Kugeln kleiner (bei Konvexflächen) oder größer (bei Konkavflächen) als derjenige der Idealfläche. Jene Mittelpunkte liefern also eine konstante Basis, deren Radius r ein für allemal festgelegt ist. Mit einer Fläche von bekannter Krümmung kann r bestimmt werden.

Die praktische Ausführung des Vorschlages ist sehr einfach. Gut polierte Stahlkugeln von gleichen Durchmessern sind im Handel leicht zu haben. Die ganze Anordnung bietet außerdem den Vorteil, daß bei Abnutzung oder Beschädigung die Kugeln unschwer ausgewechselt werden können. *Sbr.*

Einfaches Kontrast-Photometer.

Von H. Krüß. *Journ. f. Gasbeleuchtg. u. Wasserversorgung* **54.** *S. 121. 1911.*

Der Gipsschirm G (Fig. 1) steht auf der optischen Achse der Photometerbank senkrecht oder nahezu senkrecht. Die von G ausgehenden Strahlen werden durch die Spiegel S senkrecht auf die Seitenflächen des gleichseitigen Prismas P geworfen. Der Beobachter akkommodiert mittels der Linse F auf die hintere Kante von P und stellt auf gleiche Helligkeit der beiden Vergleichsfelder ein, die in der Mitte des Gesichtsfeldes in einer scharfen vertikalen Linie

[1]) München und Berlin, R. Oldenbourg 1904.

[2]) Vgl. *diese Zeitschr.* **16.** *S. 342. 1896.*

zusammenstoßen. Mit Rücksicht darauf, daß diese Felder die Seitenflächen eines Keiles bilden, bezeichnet Krüß die beschriebene Anordnung, welche sich nach seinen eigenen Angaben an das Flimmerphotometer von Wild (*The Illuminating Engineer. London* **1.** *S. 825. 1908*) anlehnt, als eine Modifikation des Ritchieschen Photometers.

Fig. 1. Fig. 2.

Um auch noch das Kontrastprinzip verwerten zu können, schaltet der Verf. in den Gang *sämtlicher* von den Spiegeln *S* reflektierten wirksamen Strahlen vor dem Prisma *P* zwei Glasplatten *k* ein, welche im Gegensatz zu den sonst üblichen Kontrastplatten aus je *zwei* Teilen verschiedener Lichtdurchlässigkeit bestehen. Durch ein photographisches Verfahren ist nämlich die eine Platte *k* in dem oberen, die andere im unteren Teile um 8 bis 10 Prozent weniger durchlässig als in dem anderen Teile gemacht. Es ergibt sich dann das in Fig. 2 abgebildete Gesichtsfeld, in welchem die vier Felder in scharfen Linien aneinander grenzen.

Schließlich möge noch auf einen Schreibfehler des Verf. hingewiesen werden. Bei der Diskussion der Fehlerquellen des Ritchieschen Photometers sagt er, daß „die Beleuchtungsstärke im allgemeinen vom Kosinus des Auffallswinkels abhängt, vielleicht sich sogar noch stärker ändert". Statt „Beleuchtungsstärke" muß es natürlich „Flächenhelle" heißen; die Beleuchtungsstärke ist vermöge ihrer Definition dem Kosinus des Einfallswinkels ja streng proportional.

E. Lb.

Schieber-Stereoskop.

Von L. Pigeon. *Compt. rend.* **152.** *S. 1111. 1911.*

Die neue Publikation des Verf. geht von denselben Grundgedanken aus, die bereits vor vier Jahren in *dieser Zeitschr.* **27.** *S. 255. 1907* besprochen worden sind. Handelte es sich damals um ein bequemes, exaktes und billiges Gebrauchsstereoskop, so haben diesmal die Anwendungen in der physiologischen Optik für den Verf. im Vordergrunde des Interesses gestanden.

In einem geschlossenen Kasten (Fig. 1), von dem hier nur die Hinterwand und eine Seitenwand — sie stoßen unter einem Winkel von etwa 106° zusammen — gezeichnet worden sind, befindet sich ein ebener Spiegel *S*. Er halbiert jenen Winkel, sodaß für ein vor ihn gebrachtes Auge *L* die Seitenwand auf die Rückwand gespiegelt wird. In beiden Wänden befinden sich Marken, *B* und *A*, auf deren Verschieblichkeit noch einzugehen sein wird. Sie können sowohl von vorn als von hinten durch besondere Glühlampen erleuchtet werden. Nach dem vorhergehenden wird die Marke *B* in *B'* so gespiegelt, daß sie dem sie betrachtenden linken Auge *L* in der Rückwand erscheint. Setzt man zunächst die Marken *B'* und *A* in gleicher Höhe voraus, und nimmt man ferner an, daß das linke Auge *L* stets *B'*, das rechte *R* stets *A* fixiere, so erkennt man, daß sich durch die Lagenänderung des Schiebers *H* die Stellung der Augen des Beobachters bequem beeinflussen läßt. Man kann es eben leicht dahin bringen, daß sich ihre Achsen vor, in oder hinter der Ebene *H* schneiden, oder daß sie auch divergieren. Wie bei allen Stereoskopen, bei denen aus ebenen Halbbildern ein körperliches Raumbild erhalten wird, wird auch bei dieser Vorkehrung der gewohnte Zusammenhang zwischen Konvergenz und Akkommodation aufgehoben.

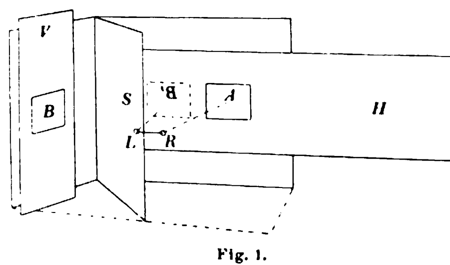


Fig. 1.
Seiten- und Rückwand des Pigeonschen Schieber-Stereoskops mit Höhen- und Seitenschieber.

Der linke Schieber *V* läßt sich in vertikaler Richtung bewegen, und man führt dadurch einen genau meßbaren Höhenfehler ein, der zur Untersuchung Schielender notwendig ist

und gute Dienste bei Fusionsübungen solcher Patienten leisten wird. Man kann ihn aber auch, wie der Verf. hervorhebt, verwenden, um Untersuchungen über die Funktion der Augenmuskeln überhaupt anzustellen. Will man die Vertikalverschiebung auch für das rechte Auge studieren, so kehrt man den Apparat einfach um. Damit für allgemeine Zwecke und namentlich zur Entlarvung von Simulanten der Ophthalmologe die Augenbewegungen der zu untersuchenden Person beobachten könne, sind an der stumpfwinkligen Kante Einblicksöffnungen L' und R' vorgesehen, die in einem schematischen Grundriß (Fig. 2) angedeutet sind.

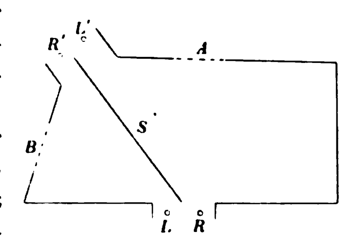


Fig. 2.
Grundriß des Pigeonschen Schieber-Stereoskops mit Einblicköffnung für den untersuchenden Arzt.

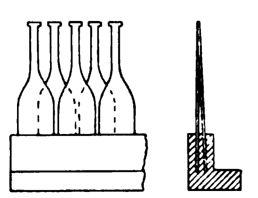
Es besteht kein Zweifel daran, daß diese Einrichtung ihrem Zwecke wohl zu dienen vermag. Gegenüber den Linsenstereoskopen, die sonst vielfach für diese Aufgaben verwandt werden, hat sie den Vorteil einer äußerst weitgehenden Sparsamkeit in der Verwendung optischer Mittel. Von solchen kommt überhaupt nur der Planspiegel S vor, und damit handelt es sich um eine optische Einrichtung, die keinerlei Fehler einführen kann. Die Ermittlung der Lage der Augenachsen wird hiermit zweifellos exakter möglich sein als bei den Stereoskopen mit zentrisch oder gar exzentrisch benutzten Linsen; denn bei diesen ist die Berücksichtigung der Linsenwirkung auf die Strahlenrichtungen im Augenraum durchaus nicht ohne Schwierigkeit. Der Ref. kann wieder, wie schon vor vier Jahren, seiner Freude darüber Ausdruck geben, daß es einem Amateur fern von den großen technischen Betrieben gelungen ist, seine guten Gedanken in treuer Durcharbeitung auf die einfachste und wirksamste Form zu bringen.

M. v. Rohr.

Frequenzmesser für Frequenzen bis etwa 1500 Perioden in der Sekunde.

Von R. Hartmann-Kempf. *Physikal. Zeitschr.* ***11.*** *S. 1183. 1910.*

Der Verf. hat Apparate nach dem bekannten Prinzip der Zungenfrequenzmesser gebaut, welche auf die verhältnismäßig hohen Periodenzahlen 500, 1000 und sogar bis zu 1500 ansprechen. Die kurzen Fähnchen haben die in der Figur dargestellte flaschenförmige Fläche; sie sind, um Raum zu sparen, gegen einander versetzt und, um eine Konstanz der Eichung zu gewährleisten, in eine Fußleiste *eingelötet.* Der Hals der flaschenförmigen Fläche steht einer Aussparung im Magneten gegenüber. Dadurch wird die Kraft, die auf die Zunge wirkt, stark vermindert, wenn der Hals in die Aussparung hineintritt, und die Gefahr des Anschlagens an den Magneten bei zu starker Erregung der Magnete verringert. Die Fähnchen, die bei den Apparaten für niedrigere Frequenzen an den Federn sitzen, sind hier weggelassen; nur die Stirnflächen des Kopfendes und ein Stückchen der Seitenflächen der Federn sind mit weißer Farbe bedeckt, um die Schwingungen sichtbar zu machen. Die Apparate werden von der Firma Hartmann & Braun A.-G. in Frankfurt a. M. fabriziert. *E. O.*



Magnetische Untersuchungen.

Von J. G. Gray und A. D. Roß. *Phil. Mag.* ***21.*** *S. 1. 1911.*

Daß bei der Magnetisierung von Eisen die sogenannte „magnetische Vorgeschichte", also die früheren Magnetisierungsvorgänge, einen wesentlichen Einfluß hat, ist allgemein bekannt und wird heutzutage bei magnetischen Messungen wohl durchweg möglichst berücksichtigt. Die Verf. lenken nun die Aufmerksamkeit auf die weniger bekannte Tatsache, daß auch die „thermische Vorgeschichte" eine ganz ähnliche Rolle spielt, indem jede vorangegangene beträchtlichere Temperaturänderung das Material in einen sogenannten „empfindlichen Zustand" versetzt, der durch eine veränderte Permeabilität charakterisiert ist. Erhitzt man beispielsweise einen weichen Stahl bis über den kritischen Punkt 750° hinaus, sodaß er

unmagnetisch wird, kühlt ihn langsam ab und nimmt dann nacheinander die Nullkurve und die Hystereseschleife bis zu einer bestimmten Feldstärke auf, so steigt die Nullkurve unverhältnismäßig steil und hoch an, und die Hystereseschleife schließt sich zunächst nicht, d. h., die Induktion, welche man bei der gleichen Feldstärke nach Vollendung des ersten Zyklus erreicht, liegt beträchtlich tiefer, als diejenige, welche man beim Beginn des Zyklus hatte. Der Schluß der Hystereseschleifen, die immer niedriger werden, tritt erst nach einer ganzen Anzahl weiterer Zyklen ein, und erst dann hat das Material den sogenannten „neutralen Zustand" erreicht, der die dauernden magnetischen Eigenschaften des Materials charakterisiert. Man führt diesen neutralen Zustand nach der Temperaturänderung ohne weiteres herbei durch die bekannte Entmagnetisierung mit Wechselstrom von abnehmender Stärke.

Entsprechende Verhältnisse treten auch ein bei der sogenannten Kommutierungskurve, bei welcher man einen Strom von zunehmender Größe immer kommutiert, sodaß die erhaltenen Ausschläge des ballistischen Galvanometers oder des Magnetometers den Spitzen der zu den jeweiligen Feldstärken gehörigen Hystereseschleifen entsprechen; auch hier hat man durch vorhergehende, zyklische Entmagnetisierung für die Erreichung des neutralen Zustands zu sorgen.

Die in Betracht kommenden Differenzen sind keineswegs unbeträchtlich und können unter Umständen 20 Prozent übersteigen; die genannte Fehlerquelle verdient daher bei allen magnetischen Untersuchungen, welche größere Temperaturänderungen umfassen, volle Beachtung. *Glch.*

Bücherbesprechungen.

S. Wellisch, Theorie und Praxis der Ausgleichungsrechnung. gr. 8°. Wien, C. Fromme.
1. Bd.: Elemente der Ausgleichungsrechnung. XI, 276 S. m. 7 Fig. u. e. Bildnisse von C. F. Gauß. 1909. 10 M.
2. Bd.: Probleme der Ausgleichungsrechnung. XI, 217 S. m. 42 Fig. 1910. 7,50 M.

Die zwei Bände stellen einen recht brauchbaren, klaren und manches in neuer Form bietenden Grundriß der Fehlertheorie und der Methode der kleinsten Quadrate von mäßigem Umfang vor. Der erste Band, mehr theoretischen Inhalts, umfaßt im I. Abschnitt die Theorie der wahren Beobachtungsfehler, im II. die Theorie der scheinbaren Beobachtungsfehler, im III. die Theorie der minimalen Fehlerquadratsumme für vermittelnde und für bedingte Messungen, alles durch Beispiele erläutert. Die „Probleme" des zweiten Bandes sind fast alle geodätischer Art; die Abschnitte sind: I. Theorie der Fehler in der Ebene und im Raum, II. Triangulierungsausgleichung (Winkel- und Richtungsausgleichung, Punktausgleichung für Vorwärts-, Rückwärts- und kombiniertes Einschneiden, endlich Netzausgleichung), III. Aufstellung empirischer Formeln. Der zweite Band wendet sich also fast ausschließlich an den Vermessungstechniker; der erste kann auch ohne diesen zweiten bezogen werden. Im 1. Band begründet der Verf. nochmals seine (Näherungs-)Formel zur unmittelbaren Berechnung des sog. wahrscheinlichen Fehlers einer Messung aus den Abweichungen der einzelnen Messungen von ihrem Durchschnitt bei gleichartigen direkten Messungen einer Unbekannten; neu ist auch die Einführung des maximalen mittlern Fehlers, der „neutralen, widerspruchsfreien" Fehlermaße sowie eines neuen Kriteriums für die Ausscheidung zweifelhafter Beobachtungen (s. u.). Für den 2. Band konnte der Verf. seine eigenen Erfahrungen in der Triangulationspraxis verwerten.

Kleine Ausstellungen im einzelnen hier anzuführen (so z. B., daß im 1. Bd. *S. 233* bei den s-Proben der Name Jordans durch den von Encke zu ersetzen sein wird), verbietet die Rücksicht auf Raum und Bestimmung dieser Zeitschrift. Nur zu dem oben genannten Ausscheidekriterium mag die Bemerkung gestattet sein, daß dabei die Größe der Abweichung der etwa wegzulassenden Beobachtung vom Durchschnitt zu wenig zur Geltung zu kommen scheint. Würde die im Beispiel an erster Stelle aufgeführte Beobachtung mit v_{max} statt der Abweichung $v_1 = -2{,}42$ vom Mittel die Abweichung $v_1' = -3{,}00$ oder $v_1'' = -4{,}00$ geben,

alle andern Beobachtungen aber unverändert bleiben, so würde ja allerdings der Wert von μ sich im Vergleich mit $\pm 0{,}913$ des Beispiels vergrößern, im Fall v_1' auf μ' gegen 1, im Fall v_1'' auf μ'' gegen 1,1, man hätte aber mit $t_{40} = 1{,}585$ und $t_{40} \cdot \sqrt{2} = 2{,}24$ selbst für den zweiten Fall V'' immer erst etwa 2,4, also selbst bei $v_1'' = -4{,}00$ noch kein Recht, jene eine Beobachtung auszuschließen. Ferner darf der Ref. vielleicht zum 1. Bd. *S. 25* abermals bemerken, daß ihm die Frage, ob „Fehler“ oder „Verbesserung“ das zweckmäßigere Wort ist, nicht eine Vorzeichenfrage zu sein scheint; besonders der Anfänger vergißt gar zu leicht, daß es sich nur um Beseitigung der „scheinbaren Fehler“ handelt, wenn man von „Fehlertilgung“ u. dgl. spricht (der genannte Ausdruck wird nicht vom Verf. des vorliegenden Werks, sondern von einem hervorragenden deutschen Geodäten mit Vorliebe gebraucht). Die Methode der kleinsten Quadrate tilgt *Messungswidersprüche* auf die rationellste Art (unter bestimmten Voraussetzungen über die Messungsunrichtigkeiten), aber „*Fehler*“ in dem sprachlich eigentlich *allein* zulässigen Sinn des Worts kann sie nicht beseitigen; sie wäre sonst, wenn man sie dann überhaupt noch brauchte, das Zaubermittel, mit dem man nach Lamonts drastischem Ausdruck „schlechte Beobachtungen in gute verwandeln“ könnte. *Hammer.*

G. Brion, Leitfaden zum elektrotechnischen Praktikum. 8°. XIV, 404 S. m. 380 Textfig. Leipzig. B. G. Teubner 1910. Geb. 11 M.

Während der Physiker seit Jahrzehnten in Kohlrauschs „Lehrbuch der praktischen Physik“ einen vorzüglichen und zuverlässigen Berater für Laboratoriumsarbeiten besitzt, fehlt für den Elektrotechniker einstweilen ein Buch, das für ihn in gleichem Maße diese Aufgabe erfüllt, obwohl es an Versuchen dazu nicht gefehlt hat. Das vorliegende Buch von Brion ist jedenfalls ein für das elektrotechnische Laboratorium durchaus brauchbarer Leitfaden und kann das Verdienst für sich in Anspruch nehmen, die bezeichnete Aufgabe ein gut Stück ihrer Lösung näher gebracht zu haben.

Ein großer Teil an dem Gelingen der Arbeit ist auf die langjährige praktische Erfahrung zurückzuführen, die der Verf. beim Unterricht in der Dresdener Technischen Hochschule gesammelt hat. Rühmend hervorzuheben ist auch, daß auf die physikalischen Zusammenhänge technischer Probleme weiter eingegangen wird als sonst in technischen Kreisen üblich ist und für erforderlich gehalten wird. Ebenso wird auf die Schwierigkeiten und Fehler, die bei Messungen auftreten, mit Verständnis hingewiesen und mit Recht betont, wie notwendig eine Erziehung zur Kritik einer Messung ist. Dieser Hinweis ist um so mehr zu begrüßen, als es Techniker gerade hierin oft fehlen lassen. Immerhin will es dem Ref. scheinen, als wenn auf die rein meßtechnische Seite in dem Buch noch nicht überall genug Nachdruck gelegt ist. Dies fällt z. B. in den Abschnitten über Maschinenmessungen auf. Der Ableitung der Theorie der Maschinen und der Diagramme wird dort ein sehr breiter Raum eingeräumt gegenüber den Anweisungen, wie man diese Auseinandersetzungen in die Tat umsetzen soll.

Die Darstellung im allgemeinen ist klar und leicht verständlich; man hat den Eindruck, daß das Ganze frisch hinter einander geschrieben ist; dadurch hat die Darstellung gewiß im großen und ganzen gewonnen, im einzelnen ist es ihr aber an manchen Stellen zum Verhängnis geworden. Man stößt auf Flüchtigkeiten und auch Unrichtigkeiten, die leicht hätten vermieden werden können. Einige Beispiele mögen das zeigen. *S. 11 u. flgde.* sind unter den Maßeinheiten diejenigen vergessen, die allein tatsächlich in der Praxis angewandt werden, nämlich die durch Reichsgesetz im Jahre 1898 festgesetzten; diese stimmen eben nicht genau mit den absoluten überein. *S. 89* ist die Begründung für die Umschalteinrichtung der Pendelzähler unrichtig; das Kapitel „Elektrizitätszähler“ ist überhaupt zu stiefmütterlich weggekommen. Der Einfluß der atmosphärischen Luftfeuchtigkeit auf Präzisionswiderstände beträgt in feuchten Gegenden nicht einige Prozent, wie *S. 108* angegeben ist, sondern einige *hundertstel* Prozent. *S. 149 u. 156* finden sich Schaltungen zur Messung von Induktivitäten und Kapazitäten, in denen Batterie- und Telephonzweig miteinander vertauscht werden müssen; man kann nicht oft genug wiederholen, daß die dargestellte Schaltung leicht

zu fehlerhaften Resultaten führen kann. Daß „unter Annahme bestimmter Verhältnisse“ die Variationsmöglichkeit von Induktionsvariatoren 10^7—10^8 *cm* beträgt (*S. 153*), ist eine etwas sonderbare Behauptung, da man natürlich dasselbe für jeden anderen Zahlenbereich sagen kann. Die Definitionen der Induktionskoeffizienten auf *S. 152/153*, von elektromotorischen Kräften auf *S. 160* lassen an begrifflicher Schärfe zu wünschen übrig.

Es sind das aber Einzelheiten, die den Wert des Ganzen nicht beeinträchtigen können.

Die Gliederung des Buches ist folgende: Nach einer Einleitung, in der sich allgemeine Bemerkungen über Messen, Meßfehler, Zahlenrechnen u. a. m. finden, folgt ein Kapitel über die Einrichtungen eines elektrotechnischen Laboratoriums, besonders desjenigen in Dresden. Dann werden Meßmethoden und Meßinstrumente zur Messung von Spannung, Strom, Leistung und Verbrauch behandelt. Es folgen Kapitel über Widerstände, Kapazitäten und Induktivitäten, Untersuchung von Primär-Elementen und Akkumulatoren, Magnetische Messungen und schließlich Messungen an Maschinen und Transformatoren sowie Messungen an elektrischen Lichtquellen. *E. Orlich.*

Neu erschienene Bücher.

Wo. Ostwald, Grundriß der Kolloidchemie. 2. völlig umgearb. u. wesentl. verm. Aufl. gr. 8°. VI, 329 S. m. zahlreichen Textfig. u. Taf. u. m. 1 Portr. v. Thomas Graham. 1. Hälfte. Dresden, Th. Steinkopf 1911. 9 M.

A. Kneser, Die Integralgleichungen und ihre Anwendungen in der mathematischen Physik. Vorlesungen an der Universität Breslau. gr. 8°. VIII, 243 S. Braunschweig 1911. 6 M.

A. A. Michelson, Lichtwellen und ihre Anwendungen. Übersetzt und durch Zusätze erweitert durch M. Iklé. Leipzig 1911. 8°. IV, 236 S. m. 3 farb. Taf. u. 108 Fig. 7,60 M.

F. Wittenbauer, Aufgaben aus der technischen Mechanik. Band III: Flüssigkeiten und Gase. 8°. VIII, 328 S. m. 347 Fig. Berlin 1911. 6 M.

Das jetzt vollständige Werk, 3 Bände, 1907—11. 299, 356 u. 336 S. m. Fig. 17 M.

W. Petersen, Hochspannungstechnik. Lex. 8°. VIII, 358 S. m. 295 Abbildgn. Stuttgart, F. Enke 1911. 11 M.; geb. in Leinw. 12,20 M.

V. Bjerknes and others, *Dynamic Meteorology and Hydrography. Part I: Statics, by V. Bjerknes and J. W. Sandström.* 4°. 148 S. u. 88 S. Tab. m. 31 Fig. Washington 1910. 25 M.

Veröffentlichungen des K. Preuß. Meteorolog. Instituts, hrsg. durch G. Hellmann. Nr. 227: Bericht über die Versammlungen des Internation. Meteorolog. Komitees und dessen Kommission für Erdmagnetismus und Luftelektrizität, Berlin 1910. 117 S. 4 M.

J. B. Stallo, Die Begriffe und Theorien der modernen Physik. Nach der 3. Aufl. des engl. Originals übers. u. hrsg. v. Dr. H. Kleinpeter. Mit einem Vorwort von E. Mach. 2. Aufl. 8°. XXIV, 328 S. m. Bildnis. Leipzig, J. A. Barth 1911. 7 M.; geb. in Leinw. 8 M.

Sammlung Göschen. Unser heut. Wissen in kurzen, klaren, allgemeinverständl. Einzeldarstellgn. kl. 8°. Leipzig, G. J. Göschen. Geb. in Leinw. jedes Bdchn. 0,80 M.

508. F. Hack, Wahrscheinlichkeitsrechnung. 123 S. m. 15 Fig. 1911. — 519. M. Enßlin, Elastizitätslehre f. Ingenieure. I. Grundlagen und Allgemeines über Spannungszustände, Zylinder, ebene Platten, Torsion, gekrümmte Träger. 140 S. m. 60 Abbildgn. 1911. — 252. H. Danneel, Elektrochemie. I. Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chem. Grundlagen. 2. Aufl. 189 S. m. 16 Fig. 1911. — 317. W. Frommel, Radioaktivität. 2. Aufl. 115 S. m. 21 Abbildgn. 1911.

A. F. Weinhold, Physikalische Demonstrationen. Anleitung zum Experimentieren im Unterricht an höheren Schulen und techn. Lehranstalten. 5. verb. u. verm. Aufl. (In 3 Lfgn.) 1. Lfg. Lex. 8°. VI, S. 1—352 m. 262 Fig. im Text u. auf 5 Taf. Leipzig, J. A. Barth 1911. 11 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

XXXI. Jahrgang. **Juli 1911.** Siebentes Heft.

Ein neues Quecksilberniveau.

Von
F. Biske in Warschau.

Wie bekannt, beruht die Wirkung der Libelle auf dem hydrostatischen Prinzip, daß in einer tonnenförmigen Röhre eine Gasblase in einer Flüssigkeit den höchsten Punkt einnimmt. Je kleiner das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, desto beweglicher ist die Blase. Die Kraft, welche die Blase in der Gleichgewichtslage hält, ist aber dabei so gering, daß kleine Temperaturdifferenzen an den Enden der Libelle die Blase aus dieser Lage zu verschieben imstande sind. Es wäre möglich, eine Libelle nach dem anderen hydrostatischen Prinzip zu konstruieren, daß die Oberfläche einer schweren Flüssigkeit bei Neigung einer tonnenförmigen Röhre immer horizontal bleibt. Damit aber die Begrenzung der Oberfläche wahrnehmbar wird, müßte die Röhre einen kleinen Krümmungsradius haben, sodaß dieses Prinzip nur bei groben Libellen angewandt werden könnte. Zur Bestimmung der Neigung der Drehungsachse eines astronomischen Fernrohrs ist das Prinzip der Autokollimation in einem Quecksilberhorizont am genauesten, kann aber allein in vertikaler Stellung des Fernrohrs angewandt werden[1]). Zur Bestimmung der Neigung in verschiedenen anderen Fällen sowie zur Messung der Abweichung der Fernrohrachse von der vertikalen Richtung, wie dies besonders bei Polhöhenbestimmungen mit dem Zenitteleskop der Fall ist, könnte ein besonderer Autokollimator angewandt werden. Dabei macht sich aber die Schwierigkeit geltend, daß die Brennweite des Autokollimators beträchtlich sein muß, damit bei einer kleinen Neigungsänderung das reflektierte Bild vom reellen Faden im Gesichtsfelde einen merklichen Abstand hat. Dem läßt sich aber in folgender Weise abhelfen.

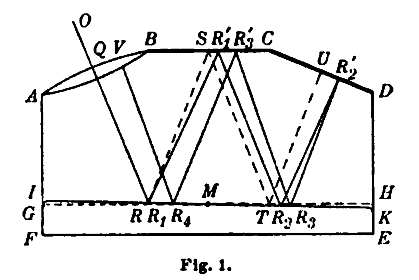


Fig. 1.

Es sei in Fig. 1 AB die Objektivlinse eines für parallele Strahlen fokussierten Autokollimators, die mit einem das Quecksilber enthaltenden Kasten $BCDEFA$ fest verbunden ist; GH sei die spiegelnde Oberfläche des Quecksilbers, BC und CD seien auf der Innenseite reflektierende Planspiegel. Die Dimensionen des Kastens seien derart bemessen, daß bei horizontaler Lage das axiale parallele Strahlenbündel nach Reflexionen am Quecksilber und den Spiegeln den Weg $ORSTU$ und zurück beschreibt, sodaß die Autokollimation möglich wird. Jetzt werde der Kasten um einen Winkel i geneigt, sodaß die Oberfläche des Quecksilbers in bezug auf ihn die Lage IK ein-

[1]) Vgl. die Mitteilung des Verfassers „*Sur un dispositif permettant de rendre horizontal l'axe optique d'une lunette*" *Bull. astronomique* **21.** *S. 457. 1904;* Referat in *dieser Zeitschr.* **25.** *S. 319. 1905.*

nimmt, wo $\sphericalangle HMK = i$. Der einmal am Quecksilber reflektierte Strahl beschreibt den Weg $R_1 R_1' R_2$, der von dem vorherigen Wege RST um den Winkel $2i$ abweicht, weil der Spiegel BC in bezug auf den Strahl unverändert geblieben ist; nach der zweiten Reflexion am Quecksilber wird der Strahl nochmals um den Winkel $2i$ abgelenkt, sodaß der Weg $R_2 R_2' R_3$ von dem ursprünglichen Wege TUT um den Winkel $4i$ abweicht; nach der dritten Reflexion wird der Weg $R_3 R_3' R_4$ von TSR um $6i$ und nach der vierten der Weg $R_4 V$ von RO um $8i$ abweichen. Nach der Neigung des Kastens um den Winkel i wird allgemein nach n Reflexionen am Quecksilber der Weg des zurückkommenden Strahles von dem Wege des zurückkommenden Strahles vor der Neigung um den Winkel $2ni$ abweichen. Ist die Neigung der zu messenden Achse gegen den Horizont i, so entspricht dem Umlegen des Kastens an der Achse eine Neigungsänderung desselben um $2i$, folglich wird der Divergenzwinkel zwischen dem vor und nach dem Umlegen zurückkommenden Strahle gleich $4ni$ sein. Bei der gewöhnlichen Art der Neigungsbestimmung der Drehungsachse eines astronomischen Fernrohrs nach der Autokollimation im Quecksilberhorizont ist, wenn die Neigung der Achse gegen den Horizont i beträgt, der Winkelwert des zu messenden Abstandes zwischen dem reflektierten und reellen Faden in der Brennebene des Fernrohrs gleich $2i$ und nach dem Umlegen des Instrumentes zwischen beiden reflektierten Fäden gleich $4i$, vorausgesetzt, daß der Kollimationsfehler der optischen Achse gleich Null ist. Um bei derselben Neigung der Achse den gleichen Abstand zwischen den reflektierten Fäden nach dem hier erwähnten Prinzip messen zu können, kann also die Brennweite des Kollimators n-mal kleiner als die des Fernrohrs sein.

Die übrigen Dimensionen dieses Quecksilberhorizontes ergeben sich aus folgender Überlegung. Der Kasten sei in horizontaler Lage (Fig. 2). Außer dem Wege des axialen Strahles $ORSTU$ und zurück seien die Wege der Randstrahlen $AJBLC$ und zurück sowie $BLCND$ und zurück berücksichtigt; praktisch werden die äußersten Randstrahlen nicht benutzt, sie liefern aber Grenzdimensionen. Ist die gesamte Zahl der Reflexionen am Quecksilber gleich n, der Radius des Kollimatorobjektivs $QB = r$, der Einfallswinkel der Strahlen gegen das Quecksilber $QRB = \alpha$, so ist die Höhe des Spiegels BC oberhalb des Quecksilbers $BR = h = r \operatorname{cosec} \alpha$ und die Länge dieses Spiegels $BC = a = (n/2 - 1) \cdot AP = (n - 2)\, r \sec \alpha$, wenn $AP \parallel BC$. Die Länge des zweiten Spiegels ist aus Symmetriegründen $CD = c = 2r$, und die Länge der Basis ist $EF = b = a + 4\, r \cos \alpha$. Soll der Strahl AJ nach JB reflektiert werden, so muß der Winkel $AJB = 2\alpha \leqq 90^0$ sein, in welch extremem Falle die Oberfläche des Quecksilbers das Objektiv in A berühren wird. Nach einer Neigung des Kastens um den Winkel i muß der Divergenzabstand des zentralen Strahles auf der Linse (Fig. 1) $QV < r$ sein, damit der axiale Strahl zur Brennebene des Kollimators gelangen kann. Dieser Divergenzabstand läßt sich mit genügender Genauigkeit folgendermaßen bestimmen. Die Länge des Lichtweges zwischen zwei nacheinander folgenden Reflexionen am Quecksilber und Spiegel ist (Fig. 2) $RS = JB = l = 2r \operatorname{cosec} 2\alpha$; der Einfachheit wegen können die Weglängen $TU = RQ$ ebenso lang angenommen werden. Es ist (Fig. 1) der Divergenzabstand nach der ersten Reflexion am Quecksilber und Spiegel gleich $TR_2 = 2l \cdot 2i$; wenn keine weitere Vergrößerung des Divergenzwinkels stattfände, würde dieser Divergenzabstand am Objektiv gleich sein $(n - 1)\, 2l \cdot 2i + l \cdot 2i$.

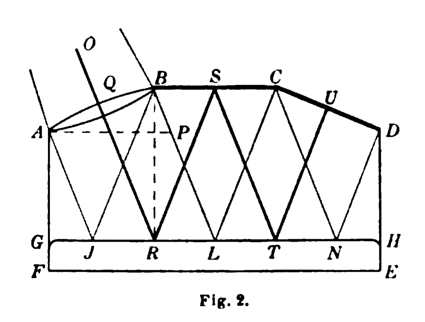


Fig. 2.

Nach der zweiten Reflexion am Quecksilber wird aber der Divergenzwinkel gegen diese letzte Richtung um den weiteren Winkel $2i$ vergrößert, mithin auch der Divergenzabstand am Objektiv um die weitere Strecke $(n-2)\,2l\cdot 2i + l\cdot 2i$ vergrößert; und ebenso nach den folgenden Reflexionen am Quecksilber. Der gesammte Divergenzabstand am Objektiv ist daher gleich

$$QV = d = (n-1)\,2l\cdot 2i + l\cdot 2i + (n-2)\,2l\cdot 2i + l\cdot 2i + \ldots + 2l\cdot 2i + l\cdot 2i + l\cdot 2i$$
$$= \frac{n\,(n-1)}{2}\cdot 2l\cdot 2i + n\,l\cdot 2i = n^2\cdot l\cdot 2i = 4\,n^2\cdot r\cdot i\cdot \operatorname{cosec} 2\,\alpha\,.$$

Es ergibt sich daher die Beziehung $4\,n^2\,i \operatorname{cosec} 2\alpha < 1$.

Für die numerische Berechnung eines Beispiels mögen noch einige praktische Bedingungen berücksichtigt werden. Bei der üblichen Form eines astronomischen Zenitteleskops mit einer Brennweite von etwa $f = 1{,}3\ m$ ist der Winkelwert einer Umdrehung der Mikrometerschraube am Okular für parallele Strahlen gleich etwa 58″. Da die Trommel einer solchen Schraube in 100 Teile geteilt ist, so ist der einem Trommelteil entsprechende Winkel gleich 0,58″. Bei der Neigungsbestimmung der Drehungsachse nach der gewöhnlichen Autokollimationsmethode würde somit die kleinste meßbare Neigung $i = 0{,}29''$ und mit Umlegen $i = 0{,}14''$ sein. Wird die kleinste meßbare Neigung mit dem neuen Quecksilberhorizont auch gleich $i = 0{,}14''$ gewählt, so muß bei derselben Einrichtung der Mikrometerschraube die Brennweite des Kollimatorobjektivs, wie bereits erwähnt, n-mal kleiner sein. Um nicht zu große Dimensionen dieser Brennweite nehmen zu müssen, sei sie $f = 21{,}66\ cm$, entsprechend einer Gesamtzahl der Reflexionen am Quecksilber von $n = 6$. Weil ferner mit wachsendem Einfallswinkel der Strahlen α die Höhe h des Kastens abnimmt, dagegen seine Länge a oder b zunimmt, so ist es aus Gründen der Stabilität vorteilhaft, diesen Winkel möglichst groß zu nehmen; es sei daher $\alpha = 45^0$. Dann ist, durch den Radius r des Kollimatorobjektivs ausgedrückt, die Höhe $h = 1{,}41\ r$, die Länge $a = 5{,}66\ r$ und die Basis $b = 8{,}48\ r$. Aus der Bedingung des Divergenzabstandes am Objektiv ergibt sich $i < \frac{\sin 2\alpha}{4\,n^2} < \frac{206265''}{144} < 23'\,52''$; d. h. erst bei einer Neigung des Kastens um 23′ 52″ gegen den Horizont würde der axiale Strahl beim Zurückkehren an den Rand des Objektivs abgelenkt.

In Fig. 3 ist der Quecksilberhorizont in $^1/_3$ nat. Größe dargestellt unter der Annahme, daß der Radius des Kollimatorobjektivs $IB = r = 2\ cm$ ist. Die Länge des Spiegels ist $BC = a = 11{,}32\ cm$. Die Abmessung des zweiten Spiegels ist identisch mit der des Objektivs: $CD = 2r = 4\ cm$. Die Höhe des Spiegels BC oberhalb der reflektierenden Fläche AD des Quecksilbers ist $h = 2{,}82\ cm$. Die Länge der Basis des Kastens ist $AD = EF = 16{,}97\ cm$. Die Höhe des Quecksilbers $ED = FA$ kann sehr klein sein, denn selbst bei der Neigung des Kastens um die 23′ 52″ sinkt die Oberfläche des Quecksilbers an der Wand DE nur um 0,06 cm oder steigt an dem Spiegel DC um 0,08 cm; sie braucht nur wenig größer zu sein. Aus dem letzten Grunde und auch weil die Randfläche des Quecksilbers nicht horizontal ist, muß das Objektiv am Rande um Größen von derselben Ordnung $AL = BK$ abgeblendet sein. Die Breite des Kastens richtet sich nach den Dimensionen, die in dieser Richtung das Objektiv AB und der

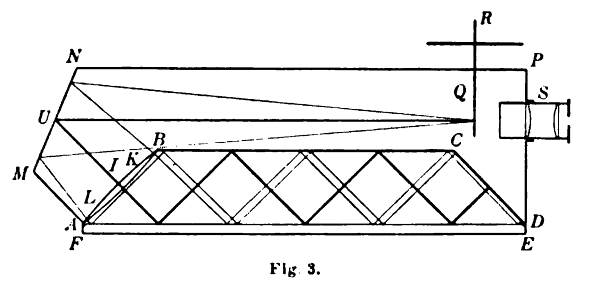


Fig. 3.

Spiegel CD haben. Damit das Kollimatorrohr nicht eine unbequeme Lage einnimmt, können die Strahlen mittels eines Spiegels MN in die horizontale Richtung abgelenkt werden, sodaß die Brennweite des Kollimatorobjektivs $IUQ = 21{,}66$ *cm* ist. In seiner Brennebene befinden sich ein festes Fadenkreuz oder ein horizontaler Spalt und ein horizontaler Faden, der durch die Mikrometerschraube R verschiebbar ist. In der vorderen Wand PD des äußeren Kastens $AMNPD$ ist ein Okular S mit einer Vorrichtung zur Beleuchtung des Fadenkreuzes oder des Spaltes befestigt. Diese Beleuchtung muß ziemlich stark sein, denn, abgesehen von den Intensitätsverlusten im Kollimatorrohr, wird die Intensität I der Strahlen nach dem Austritt aus dem Objektiv AB nach den sechs Reflexionen am Quecksilber und fünf Reflexionen an den Spiegeln bis auf die Intensität $I' = 0{,}784^6 \cdot 0{,}644^5 \cdot I = 0{,}026\, I$ verringert, wobei das Reflexionsvermögen des Quecksilbers zu 0,784, das des Nickelspiegels zu 0,644 angenommen ist.

Im allgemeinen ist die Intensität des an dem Quecksilberniveau reflektierten Bildes abhängig erstens von der Anzahl der Reflexionen im Innern des Instruments, und zwar bei n Reflexionen am Quecksilber und also $(n-1)$ Reflexionen am Nickel nach dem Gesetze $0{,}784^n \cdot 0{,}644^{n-1}\, I$, und zweitens von der Öffnung des in das Instrument eintretenden, also auch austretenden Strahlenkegels, und zwar im Verhältnis zu einer bestimmten Größe des Objektivs r_0 und der Brennweite f_0 des Kollimators nach dem Gesetze $\left[\left(\frac{r}{f}\right)^2 : \left(\frac{r_0}{f_0}\right)^2\right] \cdot I$. Im ganzen ist also

$$I' = 0{,}784^n \cdot 0{,}644^{n-1} \cdot \left(\frac{r}{f} : \frac{r_0}{f_0}\right)^2 \cdot I.$$

In der folgenden Tabelle sind die zusammengehörigen Werte der Konstanten des Niveaus für $n = 6$ und 4 und in beiden Fällen für $2r = 4, 6, 8 \ldots$ *cm* berechnet, und zwar jedesmal erstens für die gebrochene Form des Kollimators und zweitens für einen geraden Kollimator für möglichst kurze Brennweite f, entsprechend der ihr umgekehrt proportional zu bestimmenden kleinsten Neigung von $i = 0{,}42''$. Es sind alle Fälle aufgenommen, auch solche, die sonst unpraktisch wären, um die Tabelle für größere Werte von $2r$ und i leicht erweitern zu können.

Nr.	α	$i_{min.}$	f *cm*	n	$2r$ *cm*	a *cm*	b *cm*	h *cm*	$i_{max.}$	I'
1	45°	0,14″	21,66	6	4	11,32	16,97	2,82	23′ 52″	$0{,}026\, I = I_0'$
1′	45	0,42	7,22	6	4	11,32	16,97	2,82	23 52	$> 9\, I_0'$
		⋮								
2	45	0,09	32,49	6	6	16,97	25,45	4,23	23 52	I_0'
2′	45	0,42	7,22	6	6	16,97	25,45	4,23	23 52	$> 20{,}25\, I_0'$
		⋮								
3	45	0,07	43,32	6	8	22,63	33,94	5,64	23 52	I_0'
3′	45	0,42	7,22	6	8	22,63	33,94	5,64	23 52	$> 36\, I_0'$
		⋮			⋮					
4	45	0,28	16,25	4	4	5,66	11,32	2,82	59 40	$0{,}101 \cdot 1{,}78\, I = 7\, I_0'$
4′	45	0,42	10,83	4	4	5,66	11,32	2,82	59 40	$> 10{,}5\, I_0'$
		⋮								
5	45	0,19	24,37	4	6	8,48	16,97	4,23	59 40	$7\, I_0'$
5′	45	0,42	10,83	4	6	8,48	16,97	4,23	59 40	$> 35{,}44\, I_0'$
		⋮								
6	45	0,14	32,50	4	8	11,32	22,64	5,64	59 40	$7\, I_0'$
6′	45	0,42	10,83	4	8	11,32	22,64	5,64	59 40	$> 63\, I_0'$
		⋮			⋮					

Im übrigen kann dieses Quecksilberniveau ähnlich wie eine Libelle montiert werden.

Nach den Angaben für Nr. 1 der Tabelle ist ein Versuchsinstrument von der Firma C. Zeiss in Jena konstruiert worden. Dasselbe unterscheidet sich von dem der Fig. 3 nur dadurch, daß als Meßeinrichtung im Gesichtsfeld eine Skale angebracht ist, an der die Stellung des durch Autokollimation entstehenden Bildes eines beleuchteten Spaltes abgelesen werden kann, wobei als Beleuchtungslampe für den Spalt ein Metallfadenlämpchen von 4 Volt Spannung dient.

Das Instrument dürfte besonders geeignet sein für die Messungen der Polhöhenschwankungen nach der Horrebow-Talcott-Methode, wo es sich um die sehr genaue Bestimmung kleiner Neigungen handelt, deren absoluter Wert in seinem ganzen Betrage in das Endresultat eingeht. Da die Auflösungskraft des Instrumentes außer durch die Anzahl der Reflexionen auch durch die Vergrößerung der Brennweite seines Fernrohrs gesteigert werden kann, so könnte es vielleicht auch zu besonders subtilen Untersuchungen über die Änderung der Niveaufläche unter dem Einfluß äußerer Einwirkungen, wie Massen-Anziehungen, benutzt werden. Auch ist es eine Eigentümlichkeit des Instruments, daß die Marke, welche die Neigung angibt, ein Lichtbildchen ist, sodaß kontinuierliche Neigungsänderungen, wie leichte Erdbodenerschütterungen, photographisch registriert werden könnten.

Warschau, Physikalisches Institut der Universität, im März 1911.

Das Durand-Amslersche Radial-Planimeter.

Von
A. Amsler in Schaffhausen.

Seit einigen Jahren werden namentlich in Amerika zahlreiche Instrumente angewendet, die auf einer rotierenden Papierscheibe die mechanische Arbeit, den Luftdruck, die Temperatur, den Wasserdruck, die elektrische Energie u. s. w. registrieren (z. B. Bristols *Recording Pressure Gauges*). Diese Instrumente zeichnen ein Diagramm auf einem Polarkoordinaten-System, indem die runde Papierscheibe sich gleichmäßig dreht, z. B. eine ganze Umdrehung in 24 Stunden macht, während der Schreibstift entweder geradlinig oder auf einem Kreisbogen gegen den Mittelpunkt des Registrierpapiers oder davon weg sich bewegt.

Die Auswertung derartiger Diagramme ist sehr umständlich, insbesondere auch mit den gewöhnlichen Planimetern nicht möglich. Daher machte sich das Bedürfnis nach einem für die Auswertung brauchbaren genauen, aber doch einfachen Instrument stark geltend.

Im Jahre 1908 legte Hr. W. F. Durand, Professor an der Leland-Stanford-Universität in Kalifornien, der *American Society of Mechanical Engineers* den Entwurf für ein obigen Zwecken dienendes Planimeter vor. Am 6. Juli 1909 ließ er sich die Idee patentieren (Amerik. Patent Nr. 927338), konnte sie aber praktisch nicht verwerten, da ihm niemand ein brauchbares Instrument herstellte. Bei einem gelegentlichen Besuch in der Schweiz wandte sich Hr. Prof. Durand an die Firma J. Amsler-Laffon & Sohn in Schaffhausen (Schweiz) mit dem Ersuchen, die Sache zu prüfen. Nach längeren Versuchen gelang es dem Verf., ein geeignetes Modell herzustellen, das die volle Anerkennung Prof. Durands gefunden hat. Vor kurzem wurden die ersten Instrumente dieser Art nach Amerika geliefert.

Das Planimeter besteht (vgl. Fig. 1) im wesentlichen aus einem Zentrumgewicht A, das bequem und sicher zentrisch auf die Papierscheibe B gesetzt wird. Dieses Gewicht A trägt zwei parallele Führungsstangen C und C_1, und diese tragen einen Rahmen D, an dem der Fahrstift E und die Meßrolle F mit Nonius und Zählscheibe angebracht sind. Die Gerade von der Fahrstiftspitze zum Zentrum des Gewichtes bestimmt den Radiusvektor in jedem Augenblick. Die Achse der Meßrolle ist genau parallel zu dieser Linie.

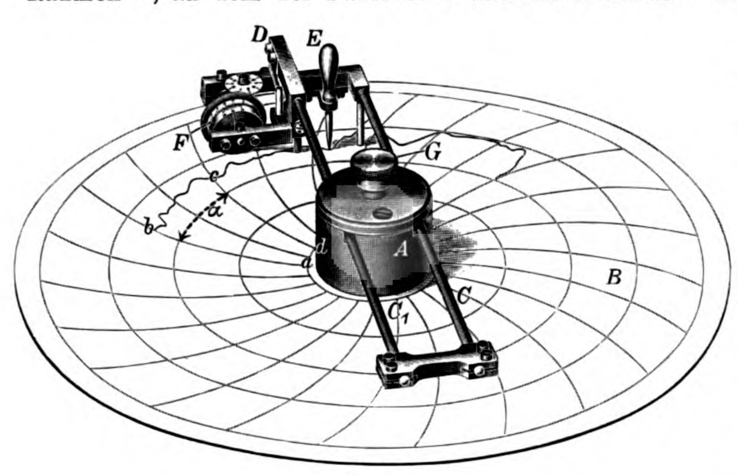


Fig. 1.

Wenn man nun ein Diagramm, z. B. $a\,b\,c\,d\,a$, umfährt, so ist die Angabe der Meßrolle proportional dem Produkt aus mittlerem Radiusvektor und dem Winkel α, über den der Radiusvektor geführt wird, oder umgekehrt: man erhält den mittleren Radiusvektor (mittlere Polarordinate), wenn man die Rollenablesung durch den Winkel (oder in der praktischen Anwendung durch die betreffende Stundenzahl) dividiert.

Die Instrumente können so konstruiert werden, daß sie die mittlere Ordinate in engl. Zoll, in Zentimeter u. s. w. angeben. Wenn man die mittlere Ordinate mit dem zugehörigen Wert pro engl. Zoll, Zentimeter u. s. w. multipliziert, erhält man den mittleren Druck, die mittlere Energie u. s. w. für eine bestimmte Zeit. Die Resultate sind ebenso genau wie diejenigen, die man mit den gewöhnlichen Amslerschen Polarplanimetern erhält. Für die nach Amerika gelieferten Planimeter sind die Meßrollenangaben mit 0,01 zu multiplizieren, um die mittlere Ordinate in ganzen, zehntel und hundertstel Zoll zu erhalten. Der Preis eines Instrumentes in Etui beträgt 80 fr.

Schaffhausen, den 28. März 1911.

Zusatz zu der vorstehenden Mitteilung.

Von
E. Hammer in Stuttgart.

Der vorstehenden Notiz über Zweck und Einrichtung des Durand-Amslerschen Planimeters seien noch einige Zeilen über Anwendungsart und Genauigkeit beigefügt. Hr. A. Amsler hat mir freundlichst ein Exemplar des Instruments zur Verfügung gestellt, mit dem ich ziemlich eingehende Versuche gemacht habe.

Um das Instrument für den Gebrauch bereitzustellen, fasse man es an dem Mittelpunktsgewicht A an und drücke den Knopf G nieder, sodaß der Stift, der G trägt, unter dem Mittelpunktsgewicht A hervorsteht. Setzt man nun das Instrument so auf die Diagramm-Papierscheibe, daß der hervorstehende Stift in das Loch der Papierscheibe paßt, und drückt das Mittelpunktsgewicht kräftig auf das Papier, so halten die drei am Boden von A angebrachten Spitzen das Instrument zentrisch auf der Papierscheibe fest.

Soll jetzt z. B. die „mittlere Höhe" der Figur *a b c d e f g h i k a* (Fig. 2) bestimmt werden, so ist wie bei jedem Planimeter zu verfahren: Fahrstift z. B. in *a* eingesetzt, die Ablesung am Zählwerk gemacht (Zählscheibenindex, Rollenindex, allenfalls Nonius), die Figur rechtläufig (Uhrzeigersinn) umfahren bis zum Anfangspunkt *a* zurück, und endlich der Stand des Zählwerks wieder abgelesen. Die Differenz: Endablesung minus Anfangsablesung, je in „Nonieneinheiten" (d. h. Tausendsteln einer Rollenumdrehung) gibt, mit $^1/_{100}$ multipliziert, die mittlere Höhe des Diagramms („Mittelordinate") für die Zeit, auf die das Diagramm sich erstreckt, d. h., das Ergebnis ist noch durch die Stundenzahl zu dividieren, um die „Mittelordinate pro Stunde" zu

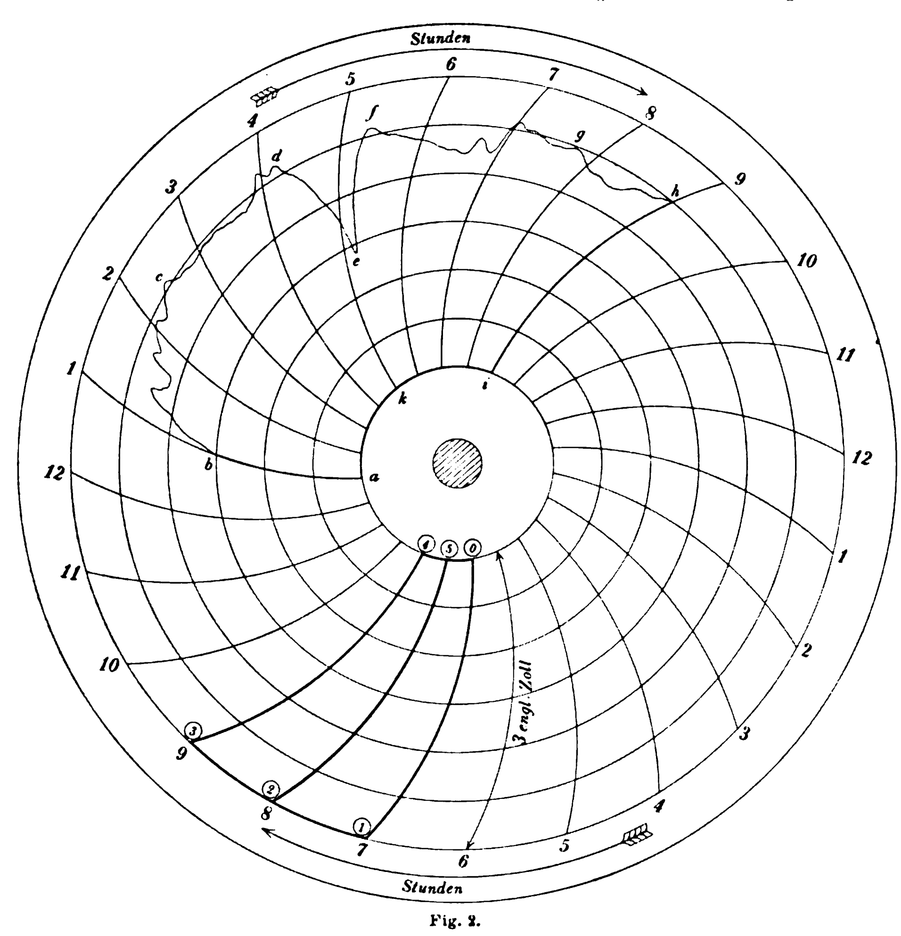


Fig. 2.

finden. Zur Fig. 2 ist hier noch zu bemerken, daß sie in *halber Gröfse* des Originals gegeben ist. Das runde Loch in der Mitte hat $^1/_2$ engl. Zoll Durchmesser. Der Randkreis der Papierscheibe hat einen um $^1/_2$ engl. Zoll größeren Halbmesser als der äußerste für den Schreibstift in Betracht kommende Kreis, an dem die Stundenzahlen stehen; es sind 7 „Ordinaten"-Kreise von je $^1/_2$ Zoll Abstand gezogen, die ganze „Ordinate" entspricht 3 Zoll. Im Fall des Linienzugs *a b c d e f g h i k a* mag z. B. sein:

Anfangsablesung, vor Beginn der Umfahrung, Fahrstift in *a*, 2772 Non.-Einh.
Schlußablesung, nach Beendig. „ „ „ „ *a*, 4646 „

Unterschied = 1874 Non.-Einh.;

$^1/_{100} \cdot 1874 = 18{,}74$, und da das Diagramm sich über 8 Stunden erstreckt (*a i* oder *b h*), so ist die „Mittelordinate pro Stunde"

$$\frac{18,74}{8} = 2,342 \text{ engl. Zoll.}$$

Rechnet man die Ablesungen am Zählwerk des Instruments, wie ich es lieber tue, statt in „Nonieneinheiten“ in *ganzen Umdrehungen* der Rolle (Ablesung bis auf 0,1 Einheit der Rollenrandteilung, d. h. 1 Nonius-Einheit), so ist die Differenz: Endablesung minus Anfangsablesung beim rechtläufigen Fahren oder: Anfangsablesung minus Endablesung beim linksläufigen Fahren mit 10 zu multiplizieren und die so erhaltene Zahl mit der Stundenzahl zu dividieren.

Um das Instrument auf seine Genauigkeit zu prüfen, kann man u. a. Figuren mit zum voraus genau bekanntem Ergebnis in der angegebenen Art umfahren, so z. B. (0) (1) (2) (5) (0) oder (0) (1) (2) (3) (4) (5) (0), vgl. Fig. 2. Bei der ersten müßte man, fehlerfreie Wirkung des Instruments und fehlerfreie Umfahrung vorausgesetzt, als Differenz in ganzen Rollenumdrehungen erhalten 0,300, bei der zweiten 0,600; da das erste Diagramm sich über 1 Stunde, das zweite über 2 Stunden erstreckt, wäre in beiden Fällen die mittlere „Ordinaten“-Höhe = 3,00 engl. Zoll.

Es mögen hier nur noch die Zahlen von einigen Versuchen an der schon oben erwähnten Figur *a b c d e f g h i k a* (Fig. 2) angeführt sein: die Figur ist, zunächst je von *a* aus, 4-mal rechtläufig und 4-mal linksläufig umfahren. Die Zählwerksablesungen lauteten, in ganzen Rollenumdrehungen je bis auf $^1/_{1000}$ einer solchen:

I. nach rechts gefahren		II. nach links gefahren	
4,240		(1) 1,744	
	1,870		1,870
6,110		9,874	
	1,872		1,878
7,982		7,996	
	1,876		1,879
9,858		6,117	
	1,876		1,874
(1) 1,734		4,243	
Mittel n = 1,873$_5$		Mittel n = 1,875	

Aus den Abweichungen der Umdrehungszahlen bei den einzelnen Umfahrungen vom Mittel erhält man links und rechts:

$$\sqrt{\frac{27}{3}} = \pm 3 \text{ Einh. der 3. Dezimalen} \qquad \sqrt{\frac{51}{3}} = \pm 4 \text{ Einh. der 3. Dezimalen,}$$

also 3 bis 4 Non.-Einh. m. F. für *eine* Umfahrung. Es ist bei diesen Umfahrungen ziemlich rasch gefahren, sodaß der m. F. keineswegs zu hoch erscheint, auch ist besonders zu bemerken, daß das Papier des Diagramms, auf dem der Versuch gemacht wurde, nicht mehr besonders gut, stellenweise sogar ziemlich runzlig war.

Dieselbe Figur ist, mit demselben Ergebnis (Gesamtmittel aller Messungen 1,874, vgl. das oben bereits angeführte Resultat), dann auch je von den Punkten *b*, *e*, *g*, *h* und *i* aus nach rechts und links umfahren, ebenfalls mit im Gesamtmittel ± 3 Non.-Einh. m. F. *einer* Umfahrung.

Im ganzen fand ich aus zahlreichen Versuchen die in der vorhergehenden Notiz von Hrn. Amsler gemachte Angabe durchaus bestätigt: Genauigkeit des Instruments etwa gleich der des gewöhnlichen einfachen Polarplanimeters.

Einige kleine Unbequemlichkeiten des Instruments, die sich besonders beim Vergleich mit dem gewöhnlichen Polarplanimeter bemerkbar machen, will ich nicht mit Stillschweigen übergehen. Die Nähe der Rolle beim Fahrstift ist insofern gefährlich, weil leicht, ohne daß es bemerkt würde, die Rolle mit der den Fahrstift führenden Hand berührt wird, wodurch Fehler entstehen. Der Fahrstift ist nicht

ganz so bequem zu führen wie bei den Polarplanimetern, weil er weniger bequem vor Augen liegt, besonders wenn nahe dem Rand des Mittelpunktsgewichts zu fahren ist; aber auch sonst stören die rechts und links vom Fahrstift befindlichen Stützen etwas. Abhilfe wird freilich nicht leicht sein, da die Stützen nicht weiter zurückgesetzt werden können, weil man sonst mit dem Fahrstift nicht mehr nahe genug an das Mittelpunktsgewicht herankommen könnte.

Diese kleinen Unbequemlichkeiten tun selbstverständlich der Hauptsache keinen Eintrag, daß hier ein neues, wichtiges und für alle Anforderungen der Praxis mehr als hinreichend genaues Instrument zur Auswertung von Diagrammen der im Eingang der Notiz von Hrn. Amsler angegebenen Art hergestellt ist, für die die gewöhnlichen Planimeter nicht gebraucht werden können. Überall, wo Registrierungen der in Fig. 1 und 2 angedeuteten Art auf rotierenden Scheiben gemacht werden, wird sich deshalb sicher auch das Durand-Amslersche Planimeter rasch Eingang verschaffen.

Bemerkung über die Anwendung von Zylinderlinsen für spektrographische Zwecke.

Von
W. J. Humphreys in Washington, D. C.

In *dieser Zeitschr.* ***31.*** *S. 87.* ***1911*** gibt Hr. Dr. E. Gehrcke ein gutes Beispiel für die Anwendung einer Zylinderlinse bei spektrographischen Arbeiten. Eine ähnliche Benutzung der Zylinderlinse hat Rowland[1]) 1882 vorgeschlagen; der Verf. hat die Verwendung sowohl von konvexen als auch von konkaven Zylinderlinsen in einer allgemeinen Arbeit über die Lichtausnutzung bei der Spektralanalyse[2]) diskutiert.

Trotz der wertvollen Hilfe, welche die Zylinderlinse leisten kann, hat sie doch den schwerwiegenden Nachteil, daß sie unvermeidlich die Definition der Spektrallinien mehr oder weniger verschlechtert und somit die Genauigkeit der Wellenlängen-Bestimmungen herabsetzt.

Indessen läßt sich das Licht durch geeignete reflektierende Flächen, wie in meiner Arbeit auseinandergesetzt ist, nahezu ebensogut wie mit einer Zylinderlinse konzentrieren, und zwar ohne merkliche Verschlechterung der Definition.

Wenn es sich also um genaue Messungen handelt, so ist es vermutlich besser, das Licht mit Hilfe von Spiegeln statt mittels einer Zylinderlinse zu konzentrieren, wenn auch für Forschungen allgemeiner Art die Verwendung der letzteren einfacher ist und rascher zum Ziel führt.

Bemerkung zu der vorstehenden Notiz.

Von
E. Gehrcke.

Die von Hrn. Humphreys geäußerten Bedenken, welche gegen die Anwendung der Zylinderlinse zur Konzentration von Spektrallinien sprechen, vermag ich nicht zu teilen. Daß die Zylinderlinse die Schärfe der Spektrallinien beeinträchtigt oder das Spektrum verzerrt, ist bei Voraussetzung eines Beugungsgitters nur dann möglich,

[1]) *Physical Papers, S. 489.*

[2]) Humphreys, *Astrophys. Journ.* ***18.*** *S. 324. 1903.*

wenn die Linse nicht die richtige, dem Krümmungsradius des Gitters entsprechende Biegung längs ihrer Achse besitzt. Hierbei ist natürlich vorausgesetzt, daß die Linse gut geschliffen und gut justiert ist. Daß diese Biegung die von Hrn. Humphreys betonten Nachteile aufhebt, darf nicht außer acht gelassen werden und scheint auch in der Literatur nicht genügend hervorgehoben worden zu sein. Ich möchte deshalb die optischen Praktiker erneut darauf aufmerksam machen, daß die Anwendung einer passenden Zylinderlinse als Kondensor in Spektrographen den großen Vorteil hat, die Helligkeit des Spektrums bedeutend zu vergrößern. Ich selbst habe durch Einfügung einer Zylinderlinse die Helligkeit ohne bemerkbare Verringerung der Schärfe der Linien etwa auf das 50-fache steigern können; es ist indessen sicher, daß man es in der Hand hat, noch weiter zu kommen.

Referate.

Das Nivellementspolygon über den Simplonpaß und durch den Tunnel.

Von J. Hilfiker. Mit zwei Studien von Th. Niethammer. *Astron.-Geod. Arbeiten in der Schweiz, herausgg. von der Schweiz. Geod. Kommission* **12.** *S. 376—419. 1910.*

Der Verf. hat die bei der „Schweizerischen Landestopographie" bis 1905 übliche Nivelliermethode dahin abgeändert, daß die beiden Latten nicht mehr neben einander, sondern im Sinn von Rückblick und Vorblick in gleiche Entfernung vom Instrument gestellt werden. Bei Nivellierungen im Gebirge ist die konstante Zielweite oft sehr klein; der Verf. liest deshalb auch nicht mehr bei ausschlagender, sondern bei einspielender Libelle an der Latte ab, und die 1 *cm*-Felderteilung der Latte (mit Bezifferung jedes einzelnen *cm*) hat in den weißen *cm*-Feldern eine 1 *mm*-Strichteilung, an der unmittelbar auf 0,1 *mm* abgelesen wird. Die durch das Gewicht des Beobachters und des Lattenträgers verursachte Bodendurchbiegung, die besonders durch Seibt als eine der gefährlichsten Quellen systematischer Fehler im Feinnivellement erkannt worden ist, wird so gut als möglich unschädlich gemacht, beim Nivellier selbst durch bestimmte Stellung der Stativbeine und des Beobachters dazu. Für die Latte hat Hilfiker ein Gestell herstellen lassen, das sichere Aufstellung (Senkrechtrichtung) der Latte und leichtes Wenden in der Fußplatte gestattet. Dieses Lattengestell, mit der Latte selbst verbunden, von Kern & Co. in Aarau ausgeführt, wird ausführlich besprochen und abgebildet: es sind zwei Streben mit drehbaren Gelenken mit dem oberen Lattenende verbunden, die je ein Zwischenstück mit Zahnstange und Triebschraube zum Senkrechtrichten der Latte nach der Dosenlibelle enthalten. Die Streben bestehen jetzt aus leichtem Messing- oder Stahl-Rohr. Der Verwendung dieser mit Streben ausgestatteten Latten schreibt Hilfiker vor allem zu, daß bei schweizerischen Feinnivellierungen in den Jahren 1907 und 1908 auf Strecken mit nicht sehr bedeutenden Höhenunterschieden der mittlere Kilometerfehler auf $\pm 0,4$ *mm* herabgebracht wurde. Sicher ist diese Hilfiker-Kernsche Latte mit Haltern als Fortschritt im Instrumentarium des Feinnivellements zu begrüßen.

Für das Nivellement auf einer Bergstraße und so also auch für die Einwägung von Punkten an der Straße von Brig nach Iselle über den Simplon mit Höhenunterschieden von 1300 bis 1400 *m* zwischen der Paßhöhe und den Ausgangspunkten im Tal handelt es sich vor allem um möglichst scharfe und häufige Feststellung der Länge des Lattenmeters. Es sind dazu statt der bisher üblichen Stahlstäbe zwei Invarstäbe mit Glaslamellen über ausgelochten Öffnungen an den Meterendstrichen verwendet; statt der Nonienablesung werden seit 1907 Schraubenmikrometer verwendet mit $^1/_4$ *mm* Ganghöhe der Schraube (1 Trommelteil $= 2^1/_2\,\mu$). Der Temperaturausdehnungskoeffizient der Invarstäbe ist 0,0000018, sodaß ein ziemlich bedeutender Temperaturfehler ohne Einfluß bleibt. Als Nivelliere haben Instrumente von

Seibt-Breithaupt und von Kern gedient (mit Reserve-Okularauszügen und Reservelibelle), Vergrößerung des Fernrohrs 40.

Es ist nun am Simplon eine geschlossene Schleife nivelliert, nämlich das Nivellement auf der Gebirgsstraße über das Hospiz durch einen Nivellementszug durch den Tunnel zum geschlossenen Einwägungspolygon gemacht; im Tunnel haben hohe Temperatur und enorme relative Feuchtigkeit (vielfach 100 Prozent) große Schwierigkeiten gemacht. Das Nivellement auf der Bergstraße ist 49,7 *km*, das durch den Tunnel 19,8 *km* lang; der Schlußfehler ist nur wenige *mm* groß, und die Doppelnivellierungen der einzelnen Strecken stimmen so gut miteinander, daß im Gesamtdurchschnitt des ganzen Nivellementspolygons als mittlerer Fehler der einfach nivellierten 1 *km*-Strecke sich der Betrag von nur $\pm$ 0,94 *mm* ergibt, bei Höhenunterschieden, die, wie bemerkt, über 1300 *m* hinausgehen. Der *theoretische* Schlußfehler der Nivellementsschleife, der infolge der Veränderungen der Werte von g längs der Linie entsteht, wird auf Grund der Isogammenkarte vom Verf. noch genau untersucht (Ergebnis etwa 14 *mm*), und Niethammer berechnet in seinem 1. Anhang den m. F. dieses theoretischen Schlußfehlers zu nur etwa $\pm$ 1 *mm*; der 2. Anhang, ebenfalls von Niethammer, behandelt die Schwere in der Lotlinie des Simplonhospizes, mit dem Ergebnis für die vorliegende Messung, daß die in der Lotlinie des Simplonhospizes gemessen gedachte Erhebung dieses höchsten Punktes der Nivellementsschleife über die durch den Anfangspunkt Brig gehende Niveaufläche um etwa 8 *cm* (auf vielleicht 1 *cm* genau) größer ausfallen würde als die Summe der längs der Straße gemessenen Höhenunterschiede. *Hammer.*

Die Aufstellung des Breithauptschen Theodolits mit Signalen in der Grube.

Von W. Breithaupt. 3. Aufl. 4°. 26 S. m. 20. Fig., Kassel 1911.

Beim ersten Erscheinen dieses Aufsatzes (damals als Abhandlung in der *Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen* **42.** *1894*) ist hier ein Referat gebracht worden (vgl. *diese Zeitschr.* **15.** *S. 343. 1895*), das neben den Markscheidern besonders auch die *Landmesser und Ingenieure* für die Zwecke der Zugmessung mit kurzen Seiten oder einigen kurzen Seiten zwischen längeren darauf hinwies. Bei Grubenmessungen hat im Ausland das Verfahren mit verlorenen Punkten seit einigen Jahren sehr weite Verbreitung gefunden und damit auch der Breithauptsche Grubentheodolit, der auf zwei mit seinem Stativ und Unterbau genau übereinstimmenden Stativen und Unterbauen mit zwei Signalen gegenseitig umgesteckt werden kann („Steckhülsen"-Vorrichtung).

In der vorliegenden 3. Aufl. der Abhandlung sind einige Vervollständigungen beschrieben und mehrere Abbildungen neuer Verbesserungen des Grubentheodolits beigegeben; auch stellt der Verf. statt der unmittelbaren Messung der Strecken zwischen Theodolit und Signal mehr den Gebrauch des entfernungsmessenden Fernrohrs, bei Aufsteckung einer Milchglasskale auf dem Signalunterbau, in den Vordergrund, als für viele Zwecke hinlängliche Genauigkeit liefernd. Der Glasskalenabschnitt l ist dabei bis zu 20 *m* Entfernung an der 1 *mm*-Skale auf 0,1 *mm* ablesbar; auf größere Entfernungen wird an der $^1/_2$ oder 1 *cm*-Skale auf 1 *mm* abgelesen. Bei unmittelbarer Messung der Strecken mit Meßband oder Meßschnur werden statt Theodolit oder Signal oder Glasskale sog. Seilzapfen in die Dreifüße eingesetzt, durch die die Schnur durchgezogen oder an die das Meßband angehängt werden kann.

Die Aufstellung des Steckhülsen-Grubentheodolits (in drei Größen, mit 8, 12, 15 *cm* äußerem Kreisdurchmesser; für den Tunnelbau mit 15, 18, 21 *cm* Durchmesser) auf Stativ, Spreize, Wandarm (Bronze oder Eisen) oder Stativarm (Holz, Bronze oder Eisen) wird ausführlich besprochen. Für den Fall, daß die Verschiebungsweite des Instruments auf dem gewöhnlichen Stativ von etwa 4 *cm* nicht genügt, hat Breithaupt ein besonderes Stativ hergestellt, auf dessen Kopf ein den Theodolit tragender Dreiarmteller um 11 *cm* verschoben werden kann. Neu ist in das vorliegende Heft auch ein Transit-Theodolit aufgenommen mit seitlichem Ansteckfernrohr und mit Tangentenkippschraube von der in *dieser Zeitschr.* **26.** *S. 306. 1906* angegebenen Einrichtung. *Hammer.*

Der Anschützsche Kreiselkompaß.

Nach einer Beschreibung der Firma Anschütz & Co. 8°. 80 S. m. Fig. Kiel 1910.

Das Buch enthält eine Darstellung des augenblicklichen Standes in der Entwicklung der Anschützschen Kreiselkompasse. Allerdings ist die Angabe im Vorwort, daß an der jetzigen Konstruktion grundlegende Änderungen vorläufig wohl nicht mehr eintreten werden, schon nicht mehr zutreffend; die rührige Firma ist bereits mit einer vollständigen Umkonstruktion beschäftigt. Trotzdem ist es wertvoll genug, daß die gegenwärtige Stufe dieses interessanten Apparates, der eine beispiellos rasche Entwicklung durchgemacht hat, durch diese Darstellung festgehalten worden ist. Auch enthält die Schrift genug, das sich auf Grundprinzip und Theorie der Kreiselkompasse wie auf die Schwierigkeiten ihrer Konstruktion bezieht und bleibenden Wert behält, sodaß ein Auszug daraus auch in dieser Zeitschrift am Platze sein dürfte.

Die geschichtliche Einleitung erwähnt Foucaults theoretische Schlüsse über die Möglichkeit von Kreiselkompassen, die Schwierigkeit, einen Kreisel von drei Freiheitsgraden zu bauen, eine Aufgabe, mit der sich Dr. Anschütz von 1900 bis 1905 beschäftigt hatte, den Übergang zum Barogyroskop, das selbsttätig in den Meridian einschwingt, die Theorie dieser Schwingungen, die Dr. Martienßen in der *Physikal. Zeitschr. 7. S. 535. 1906* gegeben hat, und die Einführung Anschützscher Kreiselkompasse in die deutsche Marine, die nach der Erfindung der automatischen Schwingungsdämpfung ermöglicht war. Aus dem Inhalt sei das Folgende hier wiedergegeben.

I. *Grundprinzip des Instruments.* Der wesentlichste Teil ist ein rasch rotierender Kreisel von etwa wagerechter Achse. Sie ist nach allen Seiten drehbar; nur liegt der Schwerpunkt des Kreisels tiefer als sein Aufhängepunkt, sodaß das Kreiselgewicht die Achse stets horizontal zu stellen sucht. Die Achse eines so aufgehängten Kreisels erleidet unter der vereinigten Wirkung ihres Beharrungsvermögens, der Erdschwere und der Erddrehung ein Drehmoment nach dem Meridian hin, solange sie sich nicht in diesem befindet. Infolge des Beharrungsvermögens der Achse, die sich im Raume parallel zu bleiben sucht, wird nämlich das nach der Osthälfte weisende Achsenende bei der Erddrehung über die im Raume sich drehende Horizontale gehoben. Dann übt aber die Schwere ein Drehmoment auf die Kreiselachse aus, auf welches diese nach den Kreiselgesetzen senkrecht zum Antrieb ausweicht. Die Achse macht also eine Schwingung im Azimut und sucht sich — roh ausgedrückt — so zu stellen, daß Erde und Kreisel gleichsinnig rotieren. Daß die Gleichgewichtslage am Erdäquator die Horizontale im Meridian, also die Erdachse, ist, liegt auf der Hand; denn in dieser Lage bleibt die Achse während der Erddrehung sowohl sich selbst parallel, wie es ihr Beharrungsvermögen fordert, als auch wagerecht, wie es die Schwere verlangt. Auf nördlicher Breite dagegen würde die Schwere allein die Kreiselachse wagerecht stellen wollen, während die einzige gegen die Erde feste und mit dem Beharrungsvermögen übereinstimmende Achsenlage geneigt und parallel zur Erdachse ist. Unter beiden Einwirkungen entsteht eine mittlere Gleichgewichtslage in der Meridianebene mit etwas erhobenem Nordende unter einem solchen Neigungswinkel, daß die infolgedessen durch die Schwere erzeugte räumliche Kreiselpräzession gerade hinreicht, um die Achse stets in der sich im Raum drehenden Meridianebene zu erhalten. Befindet sich die Kreiselachse nicht in dieser Gleichgewichtslage, so führt sie Schwingungen um sie aus, indem sowohl das Azimut der Kreiselachse wie ihre Neigung variieren, und sie selbst einen Kegelmantel beschreibt.

In der Arbeit wird ein kleiner Modellapparat angegeben, der diese Erscheinungen demonstrieren läßt. Ein kleiner Kreisel (Anker eines Drehstrommotors) läßt sich auf einem drehbaren Meridiankreis beliebig verstellen. Die nach der Mitte dieses Kreises hinwirkende Anziehungskraft (die Darstellung der Schwere) wird durch Gummischnüre erzeugt.

II. *Theorie.* Die Theorie ist von Dipl.-Ing. Schuler in derselben Form wie im *Jahrb. d. Schiffbautechn. Gesellsch. 1909. S. 561.* gegeben. Die Differentialgleichungen lauten:

$$I\left(\frac{d\alpha}{dt} + u \sin \varphi\right) = m g a \beta, \qquad 1)$$

$$I\left(\frac{d\beta}{dt} + u \cos \varphi \sin \alpha\right) = 0, \qquad 2)$$

woraus sich ergibt

$$\frac{I^2}{m g a} \frac{d^2\alpha}{dt^2} + I u \cos \varphi \sin \alpha = 0. \qquad 3)$$

Hier ist I der Kreiselimpuls, d. i. das Produkt aus seiner Winkelgeschwindigkeit um die Rotationsachse und dem Trägheitsmoment um dieselbe Achse, m die Kreiselmasse, g die Schwerebeschleunigung, a die Versenkung des Kreiselschwerpunkts unter seinen Aufhängepunkt, u die Winkelgeschwindigkeit der Erde, φ die geographische Breite, α das Azimut der Kreiselachse (von Nord nach West positiv gerechnet) und β ihre Höhenneigung. In Gl. 1) ist das Produkt aus Kreiselimpuls und Winkelgeschwindigkeit der Achse in der Horizontalebene gleich dem Moment des in der Vertikalebene angreifenden Kräftepaares gesetzt; das analoge Produkt für die Vertikalebene in Gl. 2) ist = 0, da in der Horizontalebene keine Kräfte angreifen.

Die Gleichgewichtsbedingungen

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{d\beta}{dt} = 0 \qquad 4)$$

ergeben aus Gl. 2) $\alpha_0 = 0$, aus Gl. 1) $\beta_0 = \frac{I u \sin \varphi}{m g a}$. Die Schwingungsdauer der Doppelschwingung wird $T_s = 2\pi \sqrt{\frac{I}{m g a u \cos \varphi}}$, und die Schwingungen verlaufen nach den Gesetzen

$$\alpha = A \sin \frac{2\pi t}{T_s}; \qquad \beta = \beta_0 + A \cdot \frac{2\pi}{T_s} \frac{I}{m g a} \cos \frac{2\pi t}{T_s}, \qquad 5)$$

wo die Zeit t vom Durchgang durch den Meridian gerechnet ist, und A den horizontalen Maximalausschlag bedeutet.

Es ist interessant, die Differentialgleichung der horizontalen Pendelschwingung [Gl. 3)] mit derjenigen einer schwingenden Magnetkompaßrose

$$K \frac{d^2\alpha}{dt^2} + M H \sin \alpha = 0$$

zu vergleichen, wo K das Trägheitsmoment um die Vertikalachse, M das magnetische Moment der Rose und H die Horizontalintensität des Erdfeldes bedeuten. An Stelle der Richtkraft des Magnetkompasses $M \cdot H$, deren einer Faktor H von der Erde, deren andrer M vom Apparat stammt, tritt beim Kreisel $I \cdot (u \cos \varphi)$, wo $u \cos \varphi$, die Winkelgeschwindigkeit der örtlichen Lotlinie, von der Erde und der Kreiselimpuls I vom Apparat stammt. Die Stelle des Trägheitsmoments K um die Vertikalachse vertritt beim Kreisel der Ausdruck $\frac{I^2}{m g a}$. Die Dauer der Doppelschwingung wird beim Magnetkompaß $T = 2\pi \sqrt{\frac{K}{M H}}$, beim Kreisel analog $T_s = 2\pi \sqrt{\frac{I^2}{m g a} \cdot \frac{1}{I u \cos \varphi}}$. Während man beim Magnetkompaß durch Erhöhung von M die Richtkraft $M \cdot H$ stark steigern kann, ohne zugleich K und damit T groß zu machen, wird beim Kreisel durch Steigerung der Tourenzahl zwar I und damit die Richtkraft $I u \cos \varphi$ groß; aber da das scheinbare Trägheitsmoment $\frac{I^2}{m g a}$ dadurch noch viel stärker wächst, wird die Schwingungsdauer T_s bei einem Kreisel von genügender Richtkraft außerordentlich groß. Der Magnetkompaß der deutschen Marine hat eine Schwingungsdauer von etwa 28 Sekunden; beim Anschützschen Kreisel wird T_s etwa eine Stunde. Tatsächlich hat der Kreisel sogar eine noch etwas größere Schwingungsdauer, weil es eben angesichts dieser langen Periode der ungedämpften Schwingungen notwendig war, eine energische Dämpfung einzuführen. Diese wird automatisch dadurch bewirkt, daß in der Horizontalebene ein zum Neigungs-

winkel β proportionales Kräftepaar angreift, dem jeweiligen Schwingungssinn entgegengesetzt gerichtet. Die Gl. 1) bleibt also unverändert, während Gl. 2) die Form erhält

$$I\left(\frac{d\beta}{dt} + u\cos\varphi\sin\alpha\right) = -D\beta, \qquad 2a)$$

wo D ein Proportionalitätsfaktor ist. Die Gleichgewichtsbedingungen [Gl. 4)] ergeben nun also zwar wie beim ungedämpften Kreisel $\beta_0 = \frac{I u \sin\varphi}{m g a}$, aber für α_0 statt 0 $\alpha_0 = -\frac{D}{m g a}\operatorname{tg}\varphi$. Die Achse des gedämpften Kreisels kommt also nicht im Meridian zur Ruhe, sondern zeigt eine Kreiseldeviation, die Abdrängung oder den Breitenfehler, der auf Nordbreite östlich, auf Südbreite westlich ausfällt. Er ist bei $\varphi = 60^\circ$ etwa $2{,}2^\circ$ und kann durch passende Belastung des einen Achsenendes (siehe das Justiergewichtchen j in Fig. 5) für irgendeine bestimmte Breite weggeschafft werden, wird aber dann auf der andern Erdhalbkugel um so größer.

Die Dauer der gedämpften Schwingung wird $T_d = 2\pi\sqrt{\frac{I^2}{m g a}\cdot\frac{1}{I u\cos\varphi - \frac{D^2}{4 m g a}}}$ und das log. Dekrement $\varepsilon = \frac{D\cdot T_d}{4I}$.

Die Schwingungen verlaufen nun nach den Gesetzen

$$\alpha = \alpha_0 + A\cdot e^{-\frac{Dt}{2I}}\cdot\sin\frac{2\pi t}{T_d} \qquad \beta = \beta_0 + \frac{2\pi A}{T_s}\cdot\frac{I}{m g a}\cdot e^{-\frac{Dt}{2I}}\cdot\cos\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \xi\right), \qquad 5a)$$

wo $\xi = \operatorname{arctg}\frac{\varepsilon}{\pi}$ ist. Sie unterscheiden sich also von den ungedämpften Schwingungen [Gl. 5)] dadurch, daß α_0 von 0 verschieden ist, daß zum Amplitudenfaktor der mit der Zeit abnehmende Multiplikator $e^{-\frac{Dt}{2I}}$ tritt, und die Vertikalschwingung $(\beta - \beta_0)$ zugleich eine Phasenverschiebung ξ erleidet, die dem log. Dekrement proportional ist. Bei den Anschützschen Apparaten pflegt das Dämpfungsverhältnis etwa = 3 zu sein.

III. *Systematische Kreiseldeviationen.* 1. Der durch die Dämpfungseinrichtung entstehende *Breitenfehler* α_0 wurde bereits erwähnt; er läßt sich analog wie die magnetische Deklination beim Magnetkompaß berücksichtigen; die Kreiselisogonen sind die Breitenkreise.

2. *Fahrtfehler.* Fährt das Schiff auf der Breite φ unter dem Kurswinkel A mit v Seemeilen Fahrt, so beschreibt der Kreiselort im Raum eine Bahn, die gegen die der Erddrehung allein entsprechende Richtung nach Osten um einen Winkel b_1 verdreht ist, wo $\operatorname{tg} b_1 = \frac{v\cos A}{v\sin A + 900\cos\varphi}$ ist, und um diesen Winkel, bei Anschütz δ genannt, weicht auch die Kreiselachse von der Richtung ab, die sie auf ruhendem Schiff einnehmen würde. Anschütz gibt eine Tabelle für b_1 als Funktion von v, A und φ unter Vernachlässigung des Gliedes $v\sin A$. Die Differenz wird nur bei hohen Werten von v und φ merklich; für $\varphi = 70^\circ$, $v = 24$ Sm. und $A = 45^\circ$ liefert die genaue Formel $b_1 = 3{,}0^\circ$, während die Tabelle $3{,}2^\circ$ angibt. Für Ost- und Westkurs ist $b_1 = 0$; die Maxima entstehen nahe an meridionalen Kursen.

3. *Ballistische Fehler.* Jede Änderung der Nordkomponente der Schiffsgeschwindigkeit veranlaßt einen Kreiselausschlag, da bei zunehmender Schiffsgeschwindigkeit nach Norden der Kreiselschwerpunkt infolge der Trägheit gegen den Aufhängepunkt zurückzubleiben sucht. Der Effekt ist der gleiche wie bei einem Senkungsdruck auf das Nordachsenende, d. h. ein Ausschlag dieses Endes nach West. Nimmt in einer gegen die Schwingungsdauer des Kreisels kleinen Zeit die Schiffsgeschwindigkeit von 0 auf v zu, so ist der ballistische Ausschlag nach Westen (bei Anschütz μ genannt) $b_2 = \frac{m a}{I}\cdot v$; b_2 hat den gleichen Sinn wie der Fahrtfehler b_1 bei der Fahrt v nach Norden. Während aber $b_1 = \frac{v}{r u\cos\varphi}$ (r = Erd-

radius) von der Kreiselkonstruktion unabhängig ist, hängt b_2 nur von dieser und v ab. Immerhin kann im speziellen Fall $b_2 = b_1$ werden, sodaß bei einer Fahrtänderung die Achse in die der neuen Fahrt entsprechende Gleichgewichtslage aperiodisch einschwingt. Dies ist der Fall für $b_1 = b_2$ oder $\frac{m\,a}{I} = \frac{1}{r\,u\cos\varphi}$ oder nach Kombination dieser Gleichung mit der Formel für die ungedämpfte Schwingungsdauer $T_s = 2\pi\sqrt{\frac{I}{m\,g\,a\,u\cos\varphi}}$ für $T_s = 2\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$. Dies ist, von der geringfügigen Veränderlichkeit von g auf der Erde abgesehen, ein bestimmter Zahlenwert T_s = rd. 85 Minuten. In derjenigen Breite, in der der Kreisel nach seiner Konstruktion diese Schwingungsdauer hat, ist sein ballistischer Ausschlag gleich der Änderung des Fahrtfehlers. Dr. Anschütz gibt in einer Tabelle auf *S. 49* die ballistischen Fehler b_2 für Geschwindigkeitsänderungen von 2 zu 2 Seemeilen abhängig von der Schwingungsdauer T_s. Diese Tabelle kann mißverstanden werden, da im Text die Angabe fehlt, daß hier unter T_s stets die *für die Breite von Kiel geltende* ungedämpfte Schwingungsdauer verstanden ist. Bei dieser Bedeutung von T_s — wir sagen dafür T_s(Kiel) — wird $b_2 = b_1$ für eine Breite φ, die der Gleichung genügt $\cos\varphi = \frac{0{,}581}{85{,}2^2}\,T_s^2$ (Kiel), wo $0{,}581 = \cos\varphi$ (Kiel) ist. Für T_s(Kiel) $>$ 112 Min. wird kein reeller Wert φ mehr erhalten. Um die Größenordnung der ballistischen Fehler zu kennzeichnen, sei erwähnt, daß für T_s = 75 Min. und v = 22 Sm. $b_2 = 3^0$ wird.

4. *Fehler infolge rhythmischer Schiffsbewegungen* (Schlingern, Stampfen, Maschinenstöße, Deckvibrationen). Sie beruhen darauf, daß ein wie der Kreisel aufgehängter Körper, falls die Trägheitsmomente um seine horizontalen Achsen stark verschieden sind, unter der Einwirkung rhythmischer horizontaler Stöße kräftige Drehungen im Azimut erleidet, solange nicht eine der Hauptträgheitsachsen in das Azimut der Stöße fällt. Beim Kreisel ist nun das wirkende Trägheitsmoment um die Kreiselachse viel kleiner als das um jede auf ihr senkrechte Trägheitsachse; und demgemäß waren bei ihm diese Fehler sehr verhängnisvoll. Sie haben bei starkem Seegang zum vollständigen Versagen der Kreiselkompasse geführt und die Veranlassung gegeben, daß die Firma in eine Neukonstruktion eingetreten ist, über die näher zu berichten die Zeit noch nicht gekommen ist. Die gegenwärtige Konstruktion aber ist infolgedessen bis zu einem gewissen Grade nur eine Gutwetter-Konstruktion; es gibt Seegangsverhältnisse, bei denen sie versagt.

IV. *Beschreibung der Instrumente.* Fig. 1 stellt einen schematischen Schnitt durch den Kreiselkompaß dar, Fig. 2 einen montierten Kreisel, Fig. 3 u. 4 Teile desselben, Fig. 5 den in das Kompaßhaus einzuhängenden Apparat. In einem Kompaßhaus (Fig. 2) hängt an federnd eingebauten kardanischen Ringen *c* (Fig. 2, 3, 5) ein kreisrinnenförmiges, mit Quecksilber gefülltes Gefäß *q* (Fig. 1, 3, 5). In dem Quecksilber schwimmt ein ringförmiger Schwimmer *w* (Fig. 1, 3), von dem aus Streben nach oben gehen und die Kompaßrose *r* (Fig. 1, 2, 3) mit einer zur Nordsüdlinie parallelen Libelle *l* (Fig. 2) tragen. Von der Rosenmitte, die durch einen im Glasdeckel *d* (Fig. 2, 3, 5) befestigten Stift und Zylinder *m* (Fig. 1, 2, 3) zentriert erhalten wird, senkt sich durch die mittlere Öffnung des Quecksilbergefäßes ein Träger *t* (Fig. 1, 4) herab, der das Kreiselgehäuse *g* (Fig. 1, 4, 5) mit den Kugellagern für die Kreiselachse *n s* (Fig. 1, 5) trägt. Der Kreisel *k* (Fig. 1, 3, 4) ist der von einer Stahlkappe umgebene Kurzschlußanker eines Dreiphasen-Asynchron-Motors. Der am Gehäusedeckel *g'* (Fig. 4) befestigte Stator *st* (Fig. 4) trägt die Wicklung innerhalb des Kreiselgehäuses; alle Leitungen sind fest verlegt. Zwei Phasen werden durch den Zentrierstift und den ihn umgebenden Zylinder eingeführt, die Zuleitungen bilden zugleich den Steuerstrich *i* (Fig. 1, 2, 3); die dritte ist durch Körperschluß gegeben. Der den Stator umgebende Rotor (seine Trümmer *k'* siehe Fig. 4) ist in die Kreiselkappe *k* (Fig. 3, 4) eingepreßt, die, aus bestem Nickelstahl gefertigt, mit ihrer Lavalschen Achse ein Stück bildet in Form eines Zylindermantels mit einer Grundfläche und durchgehender Achse. Er macht im normalen Betrieb 20000 Umläufe pro Minute. Die besonders gehärteten Achsenenden, deren eines die zentrale Öffnung des

Stators durchdringt, laufen in vorzüglichen Kugellagern (ihre Fassungen sind auf *g* und *g'* [Fig. 4] sichtbar) und haben bei Dochtölung [Ölgefäßchen *ö* (Fig. 5)] monatelangen Lauf ohne erkennbare Abnutzung ausgehalten. Dabei kommen auf 5 Wochen 1 Milliarde Umläufe. Der äußere Durchmesser des Kreisels beträgt 15 *cm*, sodaß die Umfangsgeschwindigkeit 155 Meter in der Sekunde ausmacht, mit der man die Erde am Äquator in 3 Tagen umkreisen würde. Das Material

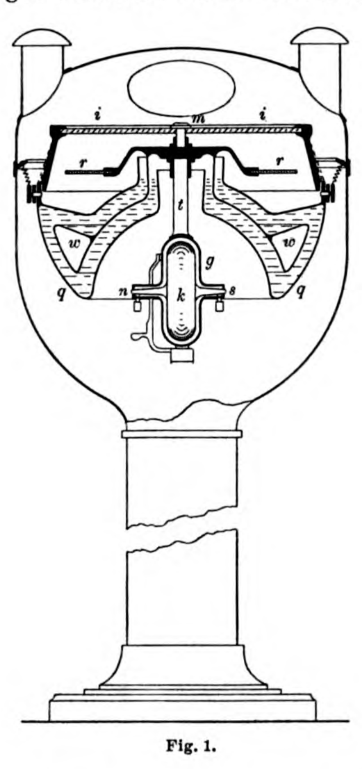


Fig. 1.

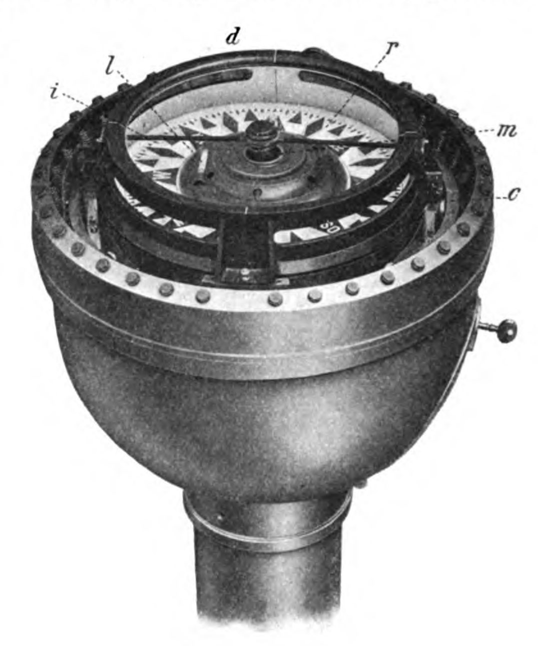


Fig. 2.

hält die enorme Zentrifugalkraft aus; erst bei 5-facher Überlastung ist es im luftleeren Raum gelungen, einen Kreisel durch Zentrifugalkraft zu zerstören, indem sich die Kreiselkappe glockenförmig weitete und die Rotorteile entschlüpfen ließ. Die Teile des so zerstörten Kreisels zeigt Fig. 4. Man erkennt den Stator *st* mit seinen aus Blech zusammengesetzten Eisensektoren, die Nickelstahlkappe des Kreisels *k*, die, von der Verbiegung der feinen Achse (Ende *s*) abgesehen, wenig verändert ist, die aus ihr herausgeschleuderten Trümmer des Kurzschlußankers *k'* sowie das Gehäuse *g* und seinen Deckel *g'*.

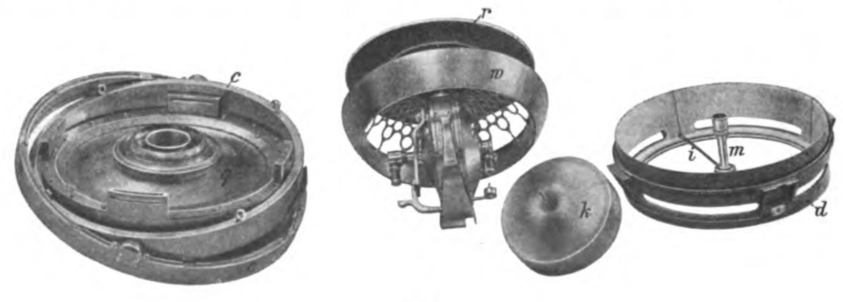


Fig. 3.

Die Kugeln der Achsenlager werden mikroskopisch geprüft; ihre Durchmesser müssen bis auf $^1/_{2000}$ *mm* gleich sein.

Nach der Art der Aufhängung ist das schwimmende System mit dem Kreisel im Azimut drehbar und kann sich allseitig neigen; nur sucht die Schwere die Kreiselachse immer wagerecht zu stellen, da der Schwerpunkt des Systems tiefer als das Auftriebzentrum liegt.

Die Dämpfungseinrichtung ist in Fig. 5 erkennbar, und zwar von Westen gesehen. Der Kreisel rotiert, von Süden betrachtet, wie die Uhrzeiger und schleudert die durch zentrale Eintrittslöcher *e* in das Gehäuse gesaugte Luft aus der Düse *ü* nach Westen hinaus. Vor dieser hängt der Pendellappen *p'* des Pendels *p*. Ist die Kreiselachse ungeneigt in Ruhe im Meridian, so sind die beiden Luftaustrittsöffnungen *a* und *b* gleich breit, und die beiden austretenden Luftstrahlen üben gleiche Rückstöße auf das Kreiselgehäuse aus, geben also zu keinem Drehmoment im Azimut Veranlassung. Schwingt die Kreiselachse aber, beispielsweise von Ost nach West, wobei der Theorie entsprechend das Nordachsenende *n* gehoben ist, so ist die Öffnung *a* breiter als *b*. Der Rückstoß der austretenden Luft ist bei *a* stärker als bei *b*; es entsteht also ein horizontales Drehmoment, das der bestehenden Schwingungsbewegung entgegenwirkt und sie dämpft. Analog wird eine vorhandene Schwingungsbewegung des Nordendes von West nach Ost abgedämpft, indem dann das Südende *s* gehoben und die Öffnung *b* breiter als *a* ist. Die Dämpfung ist stets proportional zur Achsenneigung und damit zur horizontalen Schwingungsgeschwindigkeit der Achse. Bei einer neueren Form der Einrichtung ist das Pendel *p* weggelassen und die Düsenöffnung ganz schmal gemacht. Die Wirkung ist die gleiche, da eine Hebung eines Achsenendes die Austrittsdüse nach der Seite der Hebung hin verschiebt.

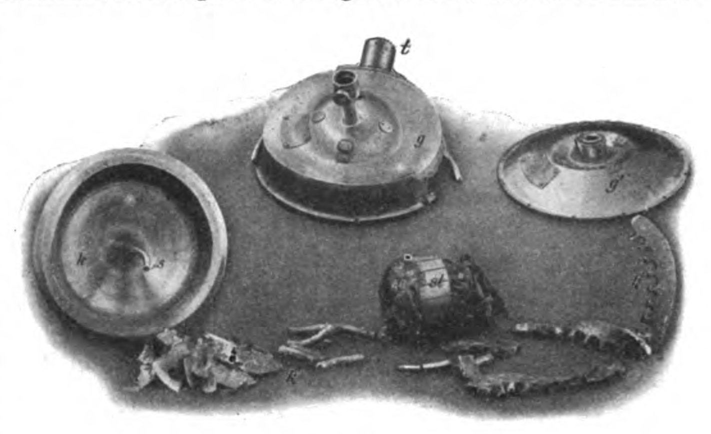


Fig. 4.

Die Dämpfung ist so kräftig, daß ein in beliebiger Achsenlage angelassener Kreisel etwa nach zwei vollen Schwingungen, d. h. etwa zwei Stunden nach dem Anlassen, praktisch im Meridian angelangt ist. Dies kann daran erkannt werden, daß bei gleichmäßiger Fahrt die Blase der Libelle *l* auf der Kompaßrose (Fig. 2) ruhig in der Mitte bleibt. Kurzes Passieren der Libellenblase durch die Mitte dagegen bedeutet nicht die Meridianlage, sondern die Umkehr bei einer Schwingung.

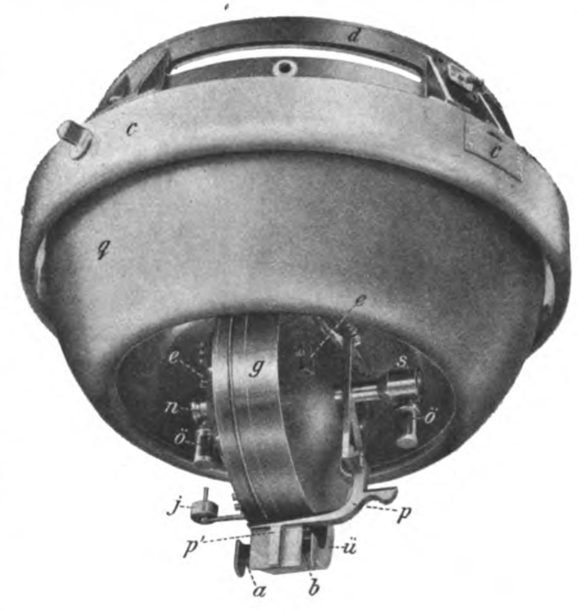


Fig. 5.

Das elektrische Zubehör besteht aus einem Motorgenerator zur Umwandlung des Schiffsgleichstroms in Drehstrom, einem Anlasser, einem Spannungs- und Tourenregler, einem Tourenzähler des Motors und Drehstrom-Spannungs- und -Strommessern mit den nötigen Sicherungen und Schaltern. Der Energieverbrauch des Umformers ist etwa 640 Watt; im normalen Betrieb macht er 2500 Touren und jede Drehstromphase desselben ist mit etwa 1,4 Ampere bei 120 Volt belastet.

V. *Die Kreiselkompaßübertragung.* Da die Schiffsbewegungen den Kreisel ungünstig beeinflussen, empfiehlt es sich, ihn an Bord an einem mechanisch besonders ruhigen Platz aufzustellen und seine Angaben an Tochterapparaten auf den Steuerstellen des Schiffs ablesbar zu machen. Diese Übertragung ist in folgender Form konstruiert: Der Quecksilberkessel des Mutterkreisels (Fig. 6) ist drehbar aufgestellt und wird automatisch stets in die gleiche Lage zur Rose gebracht. Sobald sich nämlich der Kessel mit dem Schiff gegen die azimuthaltende Kompaßrose (die tiefer gelegene Rose der Fig. 6) verdreht, legt sich ein an dieser befestigter federnder Kontakt an einen von zwei am Kessel festen Metall-Halbringen an und schließt dadurch den Stromkreis eines Wendemotors (unter dem Kessel sichtbar), der den Kessel so lange rechts oder links herum dreht, bis der Kontakt wieder losläßt, d. h. bis der Kessel wieder die alte Azimutlage erhalten hat. Eine zweite Rose oben auf dem Kessel dient zur Kursablesung an einem im Schiff festen Steuerstrich, der vorn sichtbar ist. Auf der Wendemotorachse sitzt ein Kommutator, der bei jeder Umdrehung nacheinander drei Stromkreise schließt, die im Tochterapparat (Fig. 7) an der Steuerstelle drei um 120° gegen einander verdrehte Elektromagnete nacheinander betätigen, sodaß sich ein Magnet zwischen diesen eben so oft umdreht wie die Wendemotorachse. Durch Zahnradübersetzung wird diese Magnetdrehung so auf eine geteilte Rose übertragen, daß diese sich gegen das Schiff stets um die gleichen Winkel wie die Mutterrose dreht, womit das Problem gelöst ist. Durch eine nochmalige Zahnradübersetzung wird eine mit der eigentlichen Tochterrose konzentrische „Minutenrose" so schnell gedreht, daß sie schon auf 10° Kursänderung einen vollen Umlauf macht, also bequem zehntel Grad und schätzungsweise sogar hundertstel Grad ablesen läßt. So genau kann allerdings nicht gesteuert werden; die Empfindlichkeit aber, mit der diese Rose jede Drehtendenz des Schiffes anzeigt, erleichtert das Steuern bedeutend. Der Tochterkompaß nimmt sehr wenig Raum ein trotz großer Rose; er kann transportabel eingerichtet werden und auch eine Peileinrichtnng erhalten. In Fig. 7 ist der Peilkreis auf dem Kesselrand sichtbar. Es kann eine Reihe von Tochterkompassen parallel geschaltet an denselben Mutterkreisel angeschlossen werden. Da die Übertragung nur gleiche relative Drehungen von Mutter- und Tochterrose verbürgt, müssen

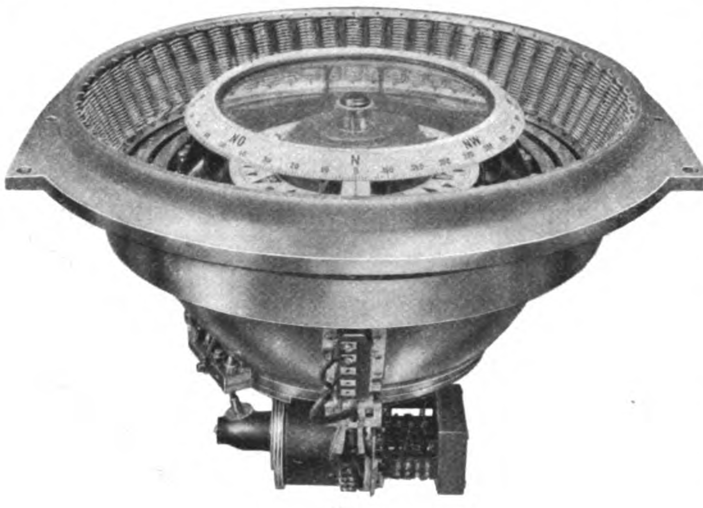


Fig. 6.


Fig. 7.

die Ausgangsstellungen durch Vergleich identisch gemacht werden; die Tochterrose ist demgemäß verstellbar gemacht.

VI. *Schluſs.* Die Herstellung der Instrumente vollzieht sich in der zu Neumühlen bei Kiel gelegenen, vorzüglich eingerichteten Fabrik, die etwa 110 Angestellte und Arbeiter beschäftigt, die zu hohen Präzisionsleistungen herangebildet werden mußten. Die Weiterentwicklung und Erprobung der Instrumente ist in steter Fühlung mit der deutschen Marine erfolgt. Der gegenwärtige Stand kann etwa in folgender Weise gekennzeichnet werden: die Anschützschen Kreiselkompasse sind zurzeit die geschätztesten *Steuerkompasse*, nach denen Kurse zu halten und Wendungen auszuführen sind. Sie verdanken diese Wertschätzung der Ruhe ihrer Rose, die auf dem Beharrungsvermögen der Kreiselachse und ihrer langen Schwingungsdauer beruht. Als Navigationskompasse, d. h. als absolute Meridianbestimmer zu jeder Zeit, sind sie mit Vorsicht zu gebrauchen und erscheinen hierzu besonders bei starken rhythmischen Schiffsbewegungen oder bei rasch folgenden Manövern mit heftigen Fahrt- und Kursänderungen (wegen des Übereinanderdeckens der ballistischen Ausschläge) noch nicht zuverlässig genug. Ganz besonders muß das Ziel der nächsten Entwicklung sein, den ungünstigen Einfluß gewisser rhythmischer Schiffsbewegungen zu bekämpfen. Nach den Werkstattversuchen besteht die Hoffnung, daß gerade hierin die geplante Neukonstruktion einen bedeutenden Fortschritt bringen wird. *Dr. H. Maurer.*

Bestimmung der Einstellungsträgheit von Thermometern.

1) W. Schmidt. *Meteorolog. Zeitschr.* **27.** *S. 400. 1910.* — 2) A. de Quervain. *Ebenda* **28.** *S. 88. 1911.* — 3) Rudel. *Ebenda* **28.** *S. 90. 1911.*

Die Verf. der vorstehenden Mitteilungen haben bei ihren Betrachtungen lediglich die Zwecke der Meteorologie im Auge. Hierdurch ist es wohl zu erklären, daß selbst in den beiden letzten Mitteilungen, in denen das Hauptgewicht auf die chronologische Entwicklung der Untersuchungen über die Trägheit der Thermometer gelegt ist, eine ganze Reihe von einschlägigen, ja zum Teil grundlegenden Arbeiten nicht berücksichtigt ist[1]). Nach der Thiesenschen Arbeit scheint das Newtonsche Abkühlungsgesetz

$$\frac{dt}{dx} = \varepsilon\,(t' - t)\,,$$

in welchem t die Temperatur des Thermometers, x die Zeit, t' die Temperatur der Umgebung und ε eine die Empfindlichkeit des Thermometers charakterisierende Konstante bedeutet, für Thermometer in ruhendem Wasser nicht gültig zu sein, wenigstens nicht bei größeren Temperaturdifferenzen zwischen Bad und Thermometer. Nach Untersuchungen von Hartmann[2]) liegen die Verhältnisse für Thermometer in bewegtem Wasser anders. Man erhält für diese konstante Werte von ε, die bei Wahl der Minute als Zeiteinheit für Thermometer mittlerer Empfindlichkeit etwa den Wert 18 haben, während nach Thiesen für Thermometer in ruhigem Wasser die Mittelwerte von ε zwischen 2,5 und 9 liegen.

Für Thermometer in Luft gilt nach den Untersuchungen von Hartmann[3]), Hergesell[4]) und anderen das Newtonsche Abkühlungsgesetz bei nicht zu großen Temperaturdifferenzen zwischen Thermometer und Umgebung in allen Fällen mit genügender Genauigkeit. Erwähnt mag hierbei werden, daß entgegen den Angaben de Quervains die von Hartmann mit E bezeichnete Größe nicht dieselbe Größe ist, die Schmidt mit α bezeichnet, und für die

[1]) F. Kohlrausch und Loomis, *Pogg. Ann.* **141.** *S. 487. 1870.* Dahlander, *Öfersigt af kongl. vetenshapsakademiens förhandlingar (Stockholm) 1876. Heft 9. S. 26.* Thiesen, *Metronom. Beiträge Nr. 3. S. 13. 1881.* Guillaume, *Séances de la Soc. franç. de physique* **7.** *Paris 1891.* Jaeger und v. Steinwehr, *Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch.* **5.** *S. 50 u. 353. 1903; Zeitschr. f. physikal. Chem.* **54.** *S. 428. 1906.*

[2]) *Diese Zeitschr.* **17.** *S. 131. 1897.*

[3]) *Diese Zeitschr.* **17.** *S. 14. 1897.*

[4]) *Meteorolog. Zeitschr.* **14.** *S. 433. 1897*; vgl. auch das Referat in *dieser Zeitschr.* **18.** *S. 55. 1898.*

oben die Bezeichnung ε eingeführt ist. E hängt vielmehr mit ε oder dem Schmidtschen α, das wieder der reziproke Wert der von Hergesell mit α bezeichneten Größe ist, durch die Beziehung

$$E = 1 - e^{-\varepsilon} = 1 - e^{-\alpha}$$

zusammen.

Hat die Temperatur t' der Umgebung einen konstanten Wert t_1, so folgt aus dem Newtonschen Abkühlungsgesetz durch Integration

$$t = t_1 - \tau_0 \cdot e^{-\varepsilon x},$$

wobei τ_0 die Temperaturdifferenz zwischen Thermometer und Umgebung zur Zeit $x = 0$ ist.

Weist t' einen linearen Anstieg auf, so kann man $t' = t_1 + Ax$ setzen, und es wird

$$t = t_1 + Ax - \frac{A}{\varepsilon} - \tau_0 \cdot e^{-\varepsilon x},$$

d. h. das Thermometer nähert sich asymptotisch einem Wert, der dauernd um $\frac{A}{\varepsilon}$ Grad unter der Temperatur der Umgebung bleibt.

Schwankt schließlich die Temperatur der Umgebung um einen Mittelwert, ist z. B. $t' = t_1 + B \sin \gamma x$, so erhält man folgende Lösung:

$$t = t_1 + \frac{B\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon^2 + \gamma^2}} \sin(\gamma x - \varphi) - \tau_0 e^{-\varepsilon x} \qquad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\gamma}{\varepsilon}\,^{1)}.$$

Die Amplitude der Schwankung, die das Thermometer anzeigt, ist also kleiner als die Amplitude der äußeren Temperaturschwankung; außerdem weist die Schwankung des Thermometers gegenüber der äußeren Schwankung eine Phasenverschiebung φ auf.

Zur Bestimmung von ε ist der einfachste Fall, daß die Außentemperatur konstant ist, am geeignetsten. Es ergibt sich die Beziehung

$$x = \frac{1}{\varepsilon} \ln \frac{\tau_0}{t_1 - t}.$$

Bestimmt man $\frac{\tau_0}{t_1 - t}$ und x, so läßt sich also ε berechnen. Werden die Beobachtungen mehrmals hinter einander ausgeführt, indem man τ_0 und x immer wieder von einem neuen Zeitpunkt an rechnet, so ergeben sich mehrere Werte für ε; sind diese unter einander gleich, so ist das Newtonsche Abkühlungsgesetz und das Exponentialgesetz erfüllt. Praktisch kann man dabei so verfahren, daß man in gleichen Zeitabständen den Wert von t beobachtet; ist ε konstant, so muß dann auch $\frac{\tau_0}{t_1 - t}$ konstant sein, wenn für τ_0 immer der zu der vorhergehenden Ablesung gehörende Wert eingesetzt wird.

Nach Hergesell ist ε in folgender Weise von der physikalischen Beschaffenheit des Thermometers und der Umgebung abhängig:

$$\varepsilon = \frac{hS}{Mc},$$

wobei M die Masse, c die spez. Wärme, S die Oberfläche des Thermometers und h die äußere Wärmeleitfähigkeit bedeutet.

Beim Abkühlen der Thermometer in Luft gilt nach de Quervain folgende Beziehung[2]):

$$\varepsilon = \frac{S}{Mc} \cdot 0{,}045 \sqrt{v} \cdot 0{,}314 \cdot e^{1{,}162 \sqrt[3]{p/p_0}}.$$

Hierin bedeutet v die Geschwindigkeit der am Thermometer vorbeistreichenden Luft in m/Sek., p den herrschenden und p_0 den normalen Barometerstand. Die Formel gilt für

---

[1]) Nicht $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\varepsilon}{\gamma}$, wie in der Arbeit von Schmidt angegeben ist.

[2]) In der Arbeit von de Quervain ist S. 89 $\frac{\alpha p}{\alpha p_0}$ statt $\frac{\alpha p_0}{\alpha p}$ zu setzen.

Drucke bis herab zu 50 *mm* Quecksilberhöhe und für Geschwindigkeiten von 1 bis 10 *m*/Sek. Für $v = 0$, d. h. falls die Thermometer sich in ruhender Luft befinden, ist an Stelle des Faktors $0{,}045\sqrt{v}$ etwa der Faktor 0,02 zu setzen. Doch sind die Beobachtungen in ruhender Luft unsicher, da sich schwache Luftströmungen, die schon stark einwirken, nie ganz ausschließen lassen.

Der Wert von ε ist von Krell[1]) für verschiedene Typen von Thermometern bei der Abkühlung in ruhiger Luft, von Schmidt bei der Abkühlung in ruhiger und bewegter Luft bestimmt worden. In ruhiger Luft liegt nach Krell ε für gewöhnliche Thermometer verschiedener Form zwischen 0,052 und 1,22, nach Schmidt zwischen 0,073 und 0,531, falls man als Zeiteinheit die Minute wählt. Der größte Wert 1,22 ist an einem Thermometer mit ungewöhnlich engem Gefäßdurchmesser gewonnen. Unter den von Krell untersuchten Thermometern befanden sich auch elektrische Fernthermometer von Hartmann & Braun, für welche er ohne Hülle $\varepsilon = 1{,}85$ und mit Hülle $\varepsilon = 0{,}23$ fand, sowie auch Le Chateliersche Thermoelemente in vierfacher Hülle, für welche er $\varepsilon = 0{,}085$ ermittelte. Aus den Beobachtungen Schmidts folgt, daß Thermometer mit Toluolfüllung eine etwas geringere Trägheit, d. h. einen etwas größeren Wert von ε, besitzen als Thermometer mit Quecksilberfüllung. Empfindliche Thermometer, für welche ε etwa gleich 1,2 ist, zeigen selbst bei sehr geringen Luftströmungen Unterschiede von 0,1° bis 0,2°, da sie der Temperaturschwankung der einzelnen sie treffenden Luftströmungen rasch genug folgen. Ein solches Thermometer nimmt, wenn es anfänglich 5° wärmer als die umgebende Luft ist, die Temperatur derselben in etwa 2 Minuten bis auf 0,5°, in etwa 3,5 Minuten bis auf 0,1° und in etwa 4 Minuten bis auf 0,05° an. Ein träges Stationsthermometer mit $\varepsilon = 0{,}25$ folgt den geringen Schwankungen von wenigen Zehnteln, die die Luftströmungen aufweisen, nicht mehr; ein solches Instrument nähert sich, wenn es ebenfalls 5° wärmer als die Umgebung war, in etwa 9 Minuten bis auf 0,5°, in etwa 16 Minuten bis auf 0,1° und in etwa 19 Minuten bis auf 0,05° der Temperatur der Umgebung.

Zur Vergleichbarkeit der Messungen von Lufttemperaturen muß daher nahezu gleiche Empfindlichkeit der benutzten Thermometer gefordert werden. Gleiche Empfindlichkeit läßt sich durch gleiche Form und gleiche Abmessungen der Thermometer gewährleisten.

Mfsr.

Über langwellige Reststrahlen des Kalkspats.

Von H. Rubens, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **13.** *S. 102. 1911.*

Über eine äußerst langwellige Strahlung des Quecksilberdampfes.

Von H. Rubens und O. von Baeyer. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1911. S. 339.*

Quarz absorbiert die Wärmestrahlen $\geq 4{,}5\ \mu$ vollständig, wird aber für Wellen von etwa 60 μ an wieder etwas durchlässig, und zwar mit wachsender Wellenlänge in steigendem Maße. Der Brechungsindex, der für 63 μ 2,19 beträgt, nähert sich mit wachsendem λ dem Grenzwert 2,14 (gleich der Wurzel aus der Dielektrizitätskonstante); für $\lambda < 4{,}5\ \mu$ ist $n = 1{,}43$ bis 1,68.

Diese außerordentliche Verschiedenheit des Brechungsexponenten von Quarz zu beiden Seiten des Absorptionsgebietes ist kürzlich von H. Rubens und R. W. Wood[2]) benutzt worden, um durch Quarzlinsen langwellige Wärmestrahlen auszusondern. Die von einer Energiequelle ausgehenden divergenten Wellen $> 60\ \mu$ werden bei passender Entfernung der Linsen bereits konvergent gemacht, während die Wellen $< 4{,}5\ \mu$ nur wenig gebrochen werden und divergent bleiben. Durch geeignete Diaphragmen (vgl. die Figur: C und E sind zwei doppelwandige Blechschirme mit den Diaphragmen B und F) und Blenden (α_1 und α_2) lassen sich, besonders bei Anwendung zweier Linsen, alle Wellen $< 4{,}5\ \mu$ fortschaffen. Diese Methode, die in ähnlicher Weise schon früher von P. Lenard[3]) zur Aussonderung der

---

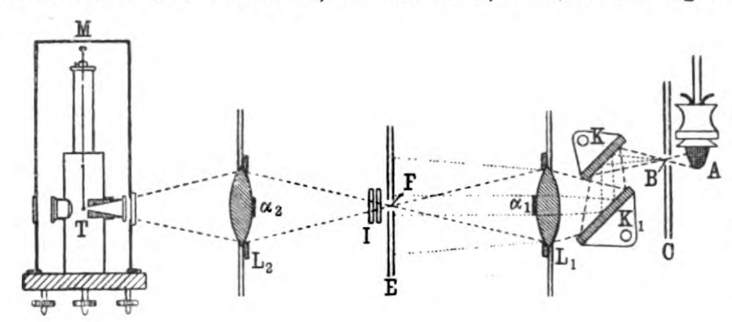
[1]) *Zeitschr. f. Heizg., Lüftg. u. Beleuchtg.* **11.** *Nr. 4 u. 6. 1906/07.*

[2]) *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **13.** *S. 88. 1911.*

[3]) *Ann. d. Physik* **1.** *S. 486. 1900*; siehe auch *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **13.** *S. 179. 1911.*

kürzesten ultravioletten Strahlen verwendet worden war, zeichnet sich durch außerordentliche Lichtstärke aus.

H. Rubens trennt nun in dieser Weise die langwelligen Reststrahlen des Kalkspats von den kürzeren und untersucht sie mit einem Interferometer (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **30.** *S. 287. 1910*). In der nebenstehenden Figur bedeuten A den Glühstrumpf eines Invertbrenners, K und K_1 zwei Kalkspatflächen, I das Interferometer, L_1 und L_2 zwei Quarzlinsen. Der Abstand der Linse L_1 von B ist so gewählt, daß nur solche Strahlen ein scharfes Bild von B in F entwerfen, für die $n > 2,14$ ist; in der Figur ist dieser Strahlenkegel gestrichelt, der Strahlengang der Wellen $< 4,5\ \mu$ punktiert gezeichnet. Durch die Linse L_2 und die Blende α_2 wird die noch in geringem Maße vorhandene diffuse kurzwellige Strahlung völlig beseitigt, sodaß nur Wellen $> 60\ \mu$ auf die Lötstelle T des Mikroradiometers M fallen. Die Schwärzung des Thermoelements geschah durch einen dünnen Überzug von Ruß und Natronwasserglas. Die aufgenommenen Interferenzkurven ergaben, daß zwei Wellenzüge sich überlagerten: eine stärkere Welle $\lambda_1 = 93,0\ \mu$ und eine schwächere $\lambda_2 = 116,1\ \mu$.



Die große Lichtstärke dieser Aussonderungsmethode bot Aussicht, zu noch größeren Wellen vorzudringen. Mit dem Auer-Strumpf als Licht- bezw. Wärmequelle war es aber nicht gelungen, wesentlich größere Strahlen als 100 μ zu erhalten. Deshalb untersuchten Rubens und v. Baeyer die kräftigen Flaschenfunken zwischen verschiedenen Metallen und den Lichtbogen zwischen verschiedenen Kohleelektroden, doch ohne Erfolg. Nur die Strahlung der Quarzquecksilberlampe bei hoher Belastung ergab nach längerem Brennen einen beträchtlichen und sehr konstanten Ausschlag. Daß die hier beobachtete Strahlung von andrer Art als die des Auer-Strumpfs war, zeigte sich beim Einschalten einer 14,66 *mm* dicken Quarzschicht: bei der Quecksilberlampe wurden 46,6 Prozent der isolierten Strahlung hindurchgelassen, beim Auer-Strumpf nur 21,7 Prozent. Durch diesen „Filter" ging nur die Strahlung des Hg-Dampfes, nicht der Teil, der von den heißen Quarzwänden herrührte, hindurch. Als noch besser zur Isolierung des langwelligen Teils der Quecksilberdampfstrahlung erwies sich 2 *mm* dicker amorpher Quarz, am besten ein 0,38 *mm* dicker schwarzer Karton. Es wurde die Durchlässigkeit verschiedener Substanzen für die so filtrierten Strahlen bestimmt. Die Interferometerkurve ließ deutlich den Wellencharakter der durch den schwarzen Karton filtrierten Strahlung erkennen. Ob es sich dabei um eine kontinuierliche Strahlung, die sich über einen größeren Spektralbereich erstreckt, oder um mehrere Strahlenarten verschiedener Wellenlänge, wie man sie bei Annahme einer Lumineszenzstrahlung erwarten dürfte, handelt, war nicht zu erweisen. Sicher ist nur der Schluß, daß ein großer Teil der isolierten Quecksilberdampfstrahlung eine mittlere Wellenlänge von etwa 313 μ oder *nahezu* $^1/_3$ *mm Wellenlänge* besitzt.

L. J.

Eine neue Form des Interferometers.

Von C. W. Chamberlain. *Phys. Rev.* **26.** *S. 514. 1908;* **31.** *S. 170. 1910.*

In *dieser Zeitschr.* **28.** *S. 243. 1908* hat Keil eine von Chamberlain angegebene Methode zur Bestimmung der Fehler von Mikrometerschrauben beschrieben, wobei ein nach dem Michelsonschen Prinzip gebautes Interferometer benutzt wird. Um diesen Apparat für andere Zwecke noch empfindlicher zu gestalten, hat der Verfasser die Spiegel und den Strahlengang anders angeordnet und mit diesem neuen Interferometer sehr schöne Erfolge erzielt. Es sei vorweggenommen, daß die Justierung beider Interferometer nach den gleichen Prinzipien erfolgt. Da aber der Keilsche Text *S. 243 unten* leicht zu Mißverständnissen

Anlaß geben kann, so möge hier darauf hingewiesen werden, daß der Apparat bei der Justierung gleichzeitig mit Natrium- und weißem Licht zu beleuchten ist, indem man hinter der Natronflamme noch eine schwach leuchtende weiße Lichtquelle aufstellt. Nur dann ist es möglich, ohne große Mühe die bunten Interferenzstreifen und unter ihnen den mittleren farblosen aufzusuchen.

Die Fig. 1 und 2 geben eine Gesamtansicht des neuen Interferometers wieder und sind nach Photographien hergestellt, die Hr. Keil freundlichst zur Verfügung gestellt hat, während aus der schematischen Fig. 3 die Anordnung der Spiegel und des Strahlenganges zu ersehen ist. Auf dem Interferometerbett sind drei Schlitten verschiebbar, deren jeder einen Spiegel trägt; ein beliebiger von den drei Schlitten kann durch eine lange Mikrometerschraube bewegt werden, an deren Kopf ein Schneckenrad nebst Schnecke befestigt ist.

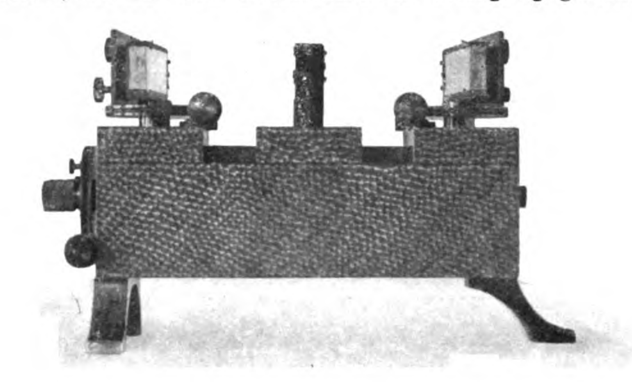


Fig. 1.

Auf dem mittleren Schlitten stehen zwei planparallele Glasplatten A und B (Fig. 3) von je 8 *mm* × 25 *mm* × 80 *mm*. Ihre Außenflächen sind zum Teil undurchsichtig versilbert, nämlich die Stücke von der Länge $CD = EF = 55$ *mm*, während die eine der Innenflächen auf die Länge $GH = 25$ *mm* halbdurchlässig versilbert ist. Die beiden Platten sind mittels einer dünnen Schicht Kanadabalsam zusammengekittet. Die beiden anderen Schlitten tragen die justierbaren Glasplatten J und K von je 10 *mm* × 25 *mm* × 70 *mm* Größe, deren innere Flächen LM und NO stark versilbert sind. Diese beiden Spiegel schließen mit der Platte AB gleiche, aber veränderliche Winkel ein.

Ein von der Lichtquelle kommender Strahl P zerlegt sich an der halbdurchlässigen Silberschicht GH. Der zurückgeworfene Teil p wird an den Spiegeln J und A wiederholt reflektiert und fällt schließlich senkrecht auf einen von ihnen auf, wenn der Winkel zwischen J und A passend gewählt ist; dann wird der Strahl p in sich zurückgeworfen und durchsetzt GH zum Teil. Ähnlich wird der durchgehende Teil p_1 wiederholt reflektiert und interferiert nach seiner teilweisen Reflexion an GH mit p. Durch Änderung des Winkels zwischen den Spiegeln hat man es in der Hand, das Licht ein- bis etwa zwanzigmal an J reflektieren zu lassen. Je größer die Anzahl dieser Reflexionen ist, um so mehr ändert sich auch, wie leicht ersichtlich ist, der Gangunterschied von p und p_1, wenn einer der drei Spiegel in Richtung der Normale von A verschoben wird. Die genauen Gleichungen hierfür werden vom Verfasser angegeben.

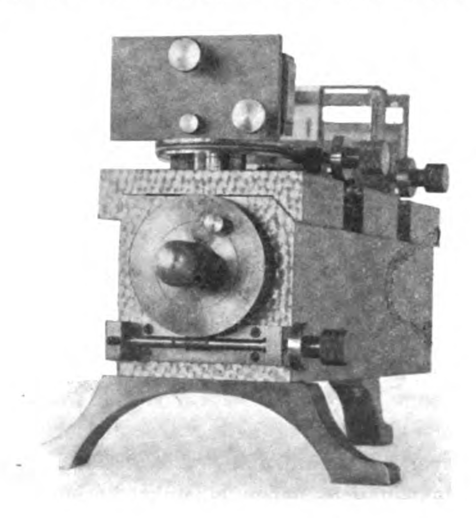


Fig. 2.

Mit einem nach diesem Prinzip zusammengesetzten Interferometer hat der Verfasser interessante Messungen über den Radius der Wirkungssphäre der Molekularkräfte ausgeführt. Dieser wird einerseits direkt nach der **Quincke**schen Methode bestimmt, bei welcher auf zwei Glasplatten sehr dünne keilförmige Silberschichten erzeugt werden und die Stelle der Silberschichten ermittelt wird, von der ab der Randwinkel einer zwischen den parallel gestellten Silberlamellen befindlichen Flüssigkeit konstant wird. Andererseits wird der Radius der Wirkungssphäre auch aus der Grenzdicke von Flüssigkeitslamellen abgeleitet, wobei nach der Methode von **Johonott** gearbeitet wird. Im ersteren Falle verwandelt der Verfasser, um die Dicke der Silberschicht zu ermitteln, das Silber durch Auflegen eines kleinen Jodkristalls in Jodsilber und bestimmt dann mit Hilfe des Interferometers die optische Dicke der entstandenen Jodsilberschicht. Im zweiten Falle werden 24 bis 53 Seifenlamellen über einander erzeugt und es wird dann ihre optische Gesamtdicke mittels des Interferometers gemessen.

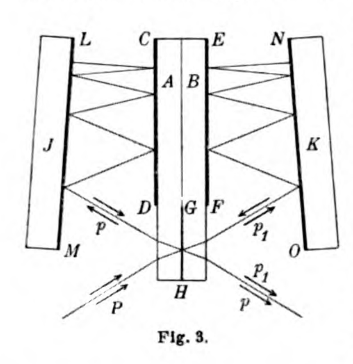
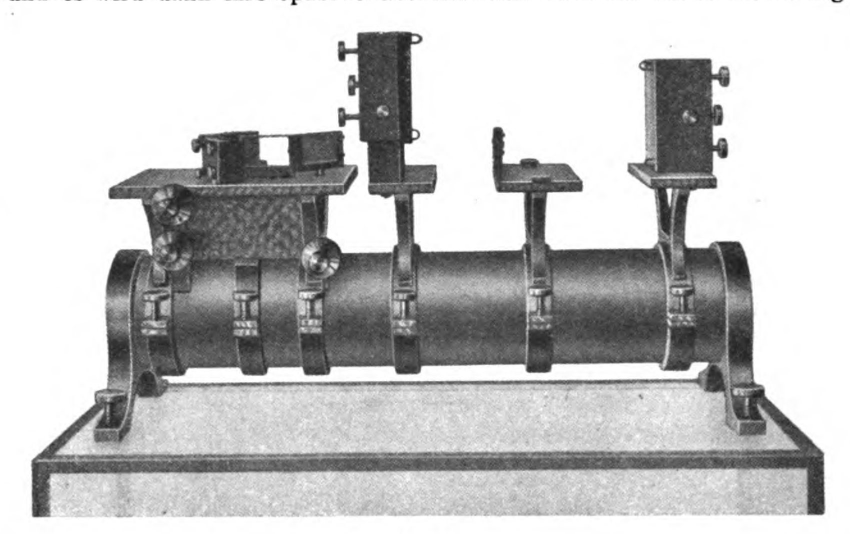


Fig. 3.


Fig. 4.

Das bei diesen Messungen benutzte Interferometer ist in den Fig. 4 und 5 dargestellt. Das von der Lichtquelle S kommende Licht zerlegt sich an der halbdurchlässigen Silberschicht auf der planparallelen Platte C in zwei Teile. Der zurückgeworfene Teil wird von dem Spiegel A reflektiert, durchsetzt die planparallele Kompensatorplatte D und gelangt darauf zum Spiegel F, während der durchgehende Teil vom Spiegel B zum Spiegel F reflektiert wird. Beide Teile werden nunmehr zwischen den Spiegeln F und E eine große Anzahl von Malen hin und her reflektiert, wobei die beiden Strahlenbüschel immer parallel und ziemlich dicht neben einander herlaufen, und schließlich in sich zurückgeworfen. Sie gelangen wieder nach C, werden hier teilweise hindurchgelassen und reflektiert und können nunmehr miteinander interferieren, sodaß in Richtung IC zu beobachten ist.

Die Spiegel und Planparallelplatten A, B, C und D haben je 25 *mm* × 40 *mm*, die Spiegel E und F je 60 *mm* × 80 *mm* Fläche. Der Abstand der beiden letzteren betrug nie weniger als 150 *mm*.

Die Glasplatte, deren einer Teil mit der zu messenden Jodsilberschicht bedeckt war, wurde nun zwischen den Spiegeln E und F auf dem in Fig. 4 sichtbaren Träger so befestigt, daß das eine Strahlenbüschel immer nur die reine Glasplatte, das andere dagegen Glasplatte und Jodsilberschicht wiederholt zu durchsetzen hatte. Bei der Dickenmessung der Flüssigkeitslamellen wurde das Interferometerbett vertikal gestellt. Die Seifenlamellen füllten die

eine Hälfte eines Behälters aus, der an den beiden Enden mit planparallelen Glasplatten verschlossen war und sich zwischen den Spiegeln E und F befand. Auf diese Weise durchsetzten die beiden interferierenden Strahlenbüschel den Behälter, also die gleiche von den Lamellen erzeugte Atmosphäre, aber nur das eine Strahlenbüschel die Seifenlamellen. So konnte die allmähliche Abnahme der Lamellendicken bis zum Grenzwerte verfolgt werden.

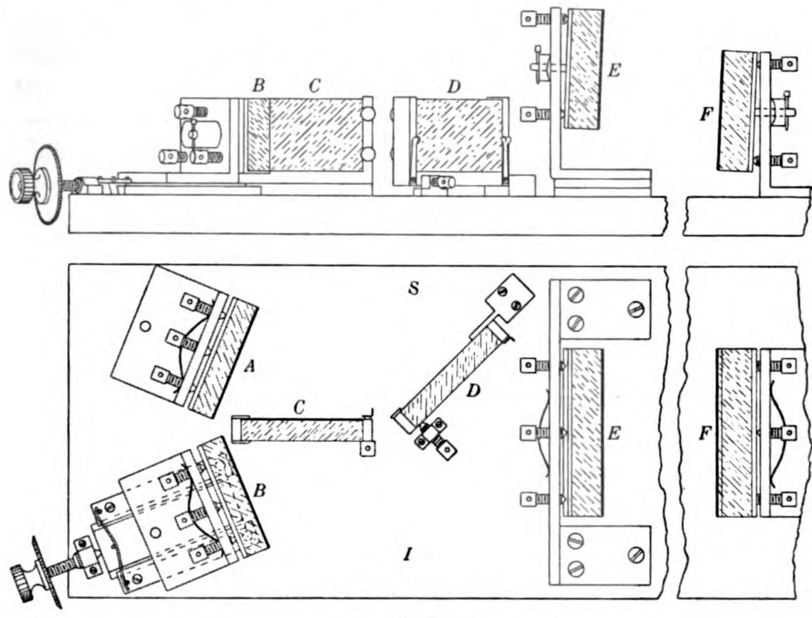


Fig. 5.

Als Resultat findet der Verfasser in Übereinstimmung mit Johonott die Grenzdicke einer Seifenlamelle zu 6×10^{-7} *cm*. Nimmt man den Schluß von Bakker als richtig an, daß der Radius der Wirkungssphäre angenähert gleich einem Drittel der möglichen Minimaldicke einer in Luft befindlichen Flüssigkeitslamelle sei, so ergibt sich also der Radius zu 2×10^{-7} *cm*. Hierbei sei daran erinnert, daß eine auf frischem Wasser ausgebreitete Olivenölschicht von 2×10^{-7} *cm* Dicke die Bewegungen von Kampherstückchen auf der Wasseroberfläche verhindert, wie Lord Rayleigh gezeigt hat. Des Verfassers Messungen nach der verbesserten Quinckeschen Methode ergeben den Radius der Wirkungssphäre der Moleküle zu $1{,}5 \times 10^{-7}$ *cm*. *Schck.*

Bücherbesprechungen.

K. Scheel, Grundlagen der praktischen Metronomie. Heft 36 der Sammlung „Die Wissenschaft". 8°. VII, 168 S. m. 39 Fig. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn 1911. 5,20 M.; geb. 6 M.

In dem vorliegenden Bande der Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien hat sich der Verf. die Aufgabe gestellt, weitere Kreise für die Grundlagen der praktischen Metronomie zu interessieren und in sie einzuführen. Ein solcher Versuch verdient, von jedem Freunde der Physik freudig begrüßt zu werden, da die Metronomie die Grundlage aller physikalischen Maßbestimmungen bildet. Zwar erscheint mir das Urteil des Verf. doch gar zu pessimistisch, wenn er in der Vorrede zu seinem Buche ausruft: „Wie wenige Physiker vermögen die einfache Vorrichtung des Okularmikrometers richtig zu benutzen; ja viele von ihnen wissen gar nicht, daß ein solches Hilfsmittel für die Messungen überhaupt existiert." Ich wenigstens kann demgegenüber aus meiner eigenen akademischen Tätigkeit her erklären: unter den Hunderten von Studierenden, die jahraus, jahrein an meinem physi-

kalischen Praktikum teilnehmen, gibt es wohl keinen einzigen, der nicht bereits im ersten Semester bei mir die Einrichtung des Okularmikrometers kennen und dasselbe praktisch zu handhaben gelernt hätte.

Aus dem großen Gebiete der Metronomie, aus der Fülle dessen, was in den letzten Jahrzehnten an Vervollkommnung und Verfeinerung der Meßapparate und Meßmethoden geleistet worden ist, durfte naturgemäß auf so beschränktem Raume, wie er dem Verf. zur Verfügung gestellt war, nur das Wichtigste gebracht werden. Eine kritische, sorgfältige Auswahl des Stoffes war deshalb in erster Linie zu treffen und durch eine eingehende sachgemäße Quellenangabe zu stützen und zu begründen. Bezüglich seiner Literaturangaben muß aber bei dem durch eigene Arbeiten auf seinem Spezialgebiet ja rühmlichst bekannten Verf. eine gewisse Einseitigkeit bemängelt werden, durch die der Fernerstehende ein falsches Bild gewinnen muß von dem, was von den einzelnen Forschern geleistet worden ist und geleistet wird.

In der Einleitung, die einen kurzen Überblick über die historische Entwickelung, über die Begründung und über die Einführung des metrischen Maßsystems bringt, fehlen klare und strenge Definitionen dessen, was man heute „ein Meter“ und „ein Kilogramm“ nennt; es fehlt die Gleichung des von dem internationalen Prototyp abgeleiteten deutschen Urgewichts, und in der auf *S. 60* mitgeteilten Gleichung für das deutsche Urmaß des Meters muß auf der rechten Seite, ebenso wie in der sechs Zeilen später folgenden Gleichung, der Faktor 10^{-6} fortfallen. Man vermißt ferner ungern einen Namen, der hier wohl an erster Stelle genannt zu werden verdient: Wilhelm Förster.

In sechs besonderen Abschnitten werden nun nacheinander die Längenmessungen, der Einfluß der Temperatur und ihre Berücksichtigung bei Längenmessungen, die Wägungen, der Einfluß äußerer Verhältnisse auf die Wägungen und deren Berücksichtigung, weiter die Raummessungen und endlich in einem Schlußkapitel, Sicherungen des metrischen Maßsystems, die interessanten Arbeiten über die Auswertung des Meters in Wellenlängen von Michelson, von Benoît, Fabry und Perot, sowie die Arbeiten von Guillaume, von Chappuis und von Macé de Lépinay, Buisson und Benoît über den Anschluß der Masseneinheit an die Längeneinheit behandelt.

Die Anordnung und Einteilung des Stoffes ist eine übersichtliche, die Darstellung durchweg eine klare und sachgemäße und wird durch zahlreiche Zeichnungen unterstützt. Die wichtigsten Messungsmethoden werden an der Hand passender, der eignen Praxis des Verf. entnommenen Beispiele erläutert.

Bei der Besprechung der Präzisionsapparate für Längen- und Massenbestimmung wäre es wünschenswert gewesen, die neueren Hilfsmittel der Kaiserlichen Normal-Eichungskommission zu berücksichtigen. Von den beiden Konstruktionstypen von Wagen, die Verf. der Besprechung unterzieht, stammt die eine aus dem Jahre 1879, während die andere einige Jahre jünger ist. Inzwischen hat die Technik des Baues feiner Wagen bedeutende, erwähnenswerte Fortschritte gemacht.

Von kleineren Mängeln sei bemerkt, daß Fig. 8 (*S. 47*) nicht richtig gezeichnet ist; Abstand der Parallelflächen und Trommelstellung und Teilung widersprechen einander. Bei Unterstützung eines Stabes in den Besselschen Punkten (*S. 43*) wird die Verkürzung der Horizontalprojektion der neutralen Schicht des Maßstabes nicht Null, sondern nur ein Minimum. Die Ausgleichung eines Satzes mit der Stückelung 4, 3, 2, 1 (*S. 109*) ist gar nicht so unbequem; sie wird durch Hinzufügung eines Stückes 5 komplizierter.

Bezüglich des bereits oben beanstandeten Zitaten- und Literaturnachweises sei hervorgehoben, daß bei der Besprechung der Komparatoren (*S. 17 u. flgde.*), z. B. die Namen Repsold, Reichel und deren Konstruktionstypen hätten Erwähnung finden müssen, daß bei der Methode der Bestimmung der periodischen Schraubenfehler (*S. 37*) der Name Bessel, bei Quecksilberthermometern (*S. 62*) unter anderem die in den „Metronomischen Beiträgen Nr. 3“ veröffentlichten thermometrischen Fundamentalversuche der Normal-Eichungskommission hätten zitiert werden müssen, bei Thermoelementen (*S. 67*) der Name Le Chatelier u. a.

Es wäre dankbar zu begrüßen, wenn der Verf. bei einer hoffentlich bald nötig werdenden zweiten Auflage sein Buch in dem angedeuteten Sinne ergänzen würde. Aber auch in seiner jetzigen Gestalt kann das Buch, dem anhangsweise mehrere für metronomische Messungen nötige Tabellen beigefügt sind, allen Physikern und Physikfreunden bestens empfohlen werden. *Leo Grunmach.*

M. v. Rohr, Die optischen Instrumente. (Aus Natur und Geisteswelt. 88. Bd.) 2. Aufl. VI, 140 S. m. 88 Textfig. Leipzig, B. G. Teubner 1911. 1 M.; geb. 1,25 M.

Wie schon in der 1906 erschienenen ersten Auflage, so ist auch in der vorliegenden zweiten Auflage als Grundlage der ganzen Darstellung die Lehre von der Strahlenbegrenzung gewählt. Dem Verf. kommt es vor allen Dingen darauf an, zu zeigen, was ein optisches Instrument leisten soll und kann, und was das Wesentliche für den Benutzer des betreffenden Instrumentes ist.

Im ersten Abschnitt (*S. 1—15*) wird der Leser mit den Grundbegriffen vertraut gemacht. Nach der Behandlung der allgemeinen Lagen- und Größenbeziehungen von Objekt und Bild wird die Lehre von der Strahlenbegrenzung entwickelt. Es wird dabei zunächst gezeigt, wie durch die Eintrittspupille bestimmt wird, welche Strahlen, von einem Objektpunkt ausgehend, wirklich durch das optische System hindurchtreten können. Die zweite Art der in Betracht kommenden Blenden ist im Objektraum durch die Eintrittsluke repräsentiert, welche in Verbindung mit der Eintrittspupille bestimmt, was für ein Bereich des Objektraumes überhaupt durch das System abgebildet werden kann. Sodann werden die Begriffe der Einstellungsebene und der Abbildskopie eingeführt; diese sind besonders in den Fällen, in denen das optische System zur Wiedergabe bezw. zur Betrachtung von räumlich ausgedehnten Objekten dient, für das Verständnis der dem optischen Instrument eigentümlichen Perspektive von großer Wichtigkeit. Dann wird kurz das Wesentliche der Strahlungsvermittlung (Lichtstärke des Instruments) behandelt. Hieran schließt sich eine Übersicht über die Realisierung der Abbildung durch optische Instrumente an, wobei im Anschluß an Gullstrand betont wird, daß man es bei jeder optischen Abbildung im wesentlichen mit Projektionsvorgängen zu tun hat.

Im zweiten Abschnitt (*S. 15—30*) wird das Auge und sein Gebrauch beim Sehen sehr eingehend behandelt; auch hier sind die neuesten Gullstrandschen Arbeiten berücksichtigt. U. a. wird der Unterschied zwischen dem direkten Sehen oder Blicken (dabei Bewegung des Auges um den Augendrehpunkt) und dem indirekten Sehen (d. h. mit ruhendem Auge) sehr klar dargestellt. Ferner wird der Fall des Sehens durch enge Öffnungen (Schlüssellochperspektive) behandelt. Diese verschiedenen Möglichkeiten der Benutzung des Auges sind von Bedeutung für die Wirkungsweise aller in Verbindung mit dem Auge benutzten optischen Instrumente.

Im dritten Abschnitt (*S. 30—130*) werden die optischen Instrumente im einzelnen besprochen. Bei jedem derselben wird zuerst die Lagen- und Größen-Beziehung zwischen Objekt und Bild behandelt, dann die Strahlenbegrenzung (Lage der Eintrittspupille, Gesichtsfeld, Tiefe und Perspektive), die Strahlungsvermittlung (Helligkeit) und die Verwirklichung der Abbildung. Bei letzterer zeigt der Verf., was für Bildfehler zu beseitigen und welche derselben bei dem betreffenden Instrument von besonderer Wichtigkeit sind. Beim Mikroskop finden wir auch eine Behandlung der Beugungserscheinungen, die ja für die Grenze des beim Mikroskop Erreichbaren von besonderer Bedeutung sind. Der Abschnitt (A) „Instrumente zu objektivem Gebrauch“ umfaßt die photographischen Objektive, den Zeichenapparat, den Scheinwerfer, die episkopische, diaskopische, kinematographische und stereoskopische Projektion. Im Abschnitt (B) „Instrumente zu subjektivem Gebrauch“ sind behandelt die Brillen (auch die Fernrohrbrillen und die Brillen für Aphakische) und Lesegläser, Vergrößerungsgläser (Lupe, Verant), das Mikroskop (einschl. Mikroprojektion und Mikrophotographie), die Instrumente zur Betrachtung von Körperhöhlen (Kystoskop u. a.), die Teleskope. Bei den letzteren werden sowohl die holländischen als auch die astronomischen (Reflektoren und Refraktoren),



die terrestrischen Fernrohre mit fester und mit kontinuierlich veränderlicher Vergrößerung, die Zielfernrohre, die Prismenfernrohre, die Doppelfernrohre, die Periskope für Unterseeboote sowie die Verwendung der Fernrohre bezw. ihrer Objektive in der Astrophotographie besprochen.

Gegenüber der ersten Auflage sind in der zweiten die historischen Bemerkungen erweitert, dann die Lehre von der Strahlenbegrenzung durch eingehendere Behandlung der Gesichtsfeldbegrenzung; vor allem ist das Kapitel über das Auge und über die Brillen ausführlicher. Eine möglichst konsequent durchgeführte Bezeichnung und ein ausführliches Namen- und Sachregister erleichtern die Benutzung des Büchleins, das jedem, dem an einer systematischen Darstellung der Wirkungsweise aller optischen Instrumente gelegen ist, Freude machen muß. *Dr. H. Erfle in Jena.*

Neu erschienene Bücher.

H. Graßmanns gesammelte mathematische u. physikalische Werke. Auf Veranlassg. der mathematisch-phys. Klasse der kgl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften u. unter Mitwirkg. v. Jac. Lüroth, Eduard Study, Just. Graßmann, Herm. Graßmann d. J., Geo. Scheffers hrsg. v. Frdr. Engel. gr. 8°. Leipzig, B. G. Teubner.

III. Bd. 1. Tl.: Theorie der Ebbe u. Flut. Prüfungsarbeit 1840 u. Abhandlungen zur mathematischen Physik, aus dem Nachlasse hrsg. v. Just. Graßmann u. Frdr. Engel. V, 353 S. m. 16 Fig. 1911. 18 M.

Friedr. Vieweg & Sohn, Verlagskatalog, herausgegeben aus Anlaß des hundertfünfundzwanzigjährigen Bestehens der Firma. XLV, 475 S. Braunschweig 1911.

W. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. In 2 Bdn. II. Bd. 1. Tl. Chemische Energie. 2, umgearb. Aufl. 3. Abdr. gr. 8°. XV, 1104 S. m. 77 Fig. Leipzig, W. Engelmann 1911. 34 M.; geb. in Halbfrz. 36,50 M.

M. Planck, Vorlesungen üb. Thermodynamik. 3., erweit. Aufl. gr. 8°. VIII, 288 S. m. 5 Fig. Leipzig, Veit & Co. 1911. Geb. in Leinw. 7,50 M.

R. Marcolongo, Theoretische Mechanik. Deutsche Bearbeitg. v. Prof. H. E. Timerding. 1. Bd. Kinematik u. Statik. gr. 8°. VIII, 346 S. m. 110 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1911. 10 M.; geb. in Leinw. 11 M.

A. Föppl, Vorlesungen üb. technische Mechanik. In 6 Bdn. (Neue Aufl.) 1. Bd. Einführung in die Mechanik. 4. Aufl. 8°. XV, 424 S. m. 104 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1911; geb. in Leinw. 10 M.

Ergebnisse der Arbeiten am königl. preußischen Aeronautischen Observatorium bei Lindenberg im J. 1909. V. Bd. Hrsg. v. Dir. Dr. Rich. Assmann. III, XXXVI, 248 S. m. 1 Fig., 25 eingedr. Diagr. u. 1 Tafel. 32,5 × 25 cm. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1910. 15 M.

Deutsche Südpolar-Expedition, 1901—1903. Im Auftrage des Reichsamtes des Innern hrsg. von Erich v. Drygalski. 12—15 Bde. m. Atlas in 3 Bdn. 35,5 × 26,5 cm. Berlin, G. Reimer 1911.

III. Bd. 2. Heft: Meteorologie. I. Bd. 1. Hälfte. 2. Heft. W. Meinardus: Meteorologische Ergebnisse der Winterstation des „Gauss" 1902—1903. (Forts.) Mit Taf. XIV bis XVI u. 2 Abbildgn. im Text. S. 127—339. 1911. Subskr.-Pr. 21,50 M; Einzelpr. 26 M.

V. Bd. 3. Heft: Erdmagnetismus. I. Bd. 3. Heft. Fr. Bidlingmaier: Erdmagnetische Seebeobachtungen u. anschließende Untersuchungen. II. Tl.: Deklination. M. Taf. V—VII u. 1 Abbildg. im Text. S. 311—342. 1911. Subskr.-Pr. 7 M; Einzelpr. 8,50 M.

K. Schwarzschild, Aktinometrie der Sterne B. D. bis zur Größe 7,5 in der Zone 0° bis + 20° Deklination. Teil A. 4. 155 S. m. 1 Tafel u. 2 Figuren. Berlin (Abh. Ges. Wiss. Gött.) 1910. 12 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **F. R. Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Raps**, geschäftsführendes Mitglied,
Dr. **H. Krüss**, Prof. Dr. **R. Straubel**.

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **August 1911.** Achtes Heft.

Präzisionswage für 10 *kg* Belastung nach Thiesen.

Von
Karl Scheel.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Eine der Hauptforderungen, welchen eine Präzisionswage ersten Ranges genügen muß, ist die Unveränderlichkeit der Hebelarme während einer ganzen Wägung. Diese Forderung ist nicht immer in ausreichendem Maße erfüllt. Will man beispielsweise mit einer Wage von 20 *cm* Hebellänge Kilogramme mit einer Genauigkeit von ± 0,01 *mg* oder 10 *kg*-Stücke mit einer Genauigkeit von ± 0,1 *mg* vergleichen, so entspricht dies einer Unveränderlichkeit der Hebelarme von ± 0,002 *μ*. Bis auf diesen kleinen Betrag müßten sich also bei der angegebenen erstrebten Genauigkeit innerhalb einer Bordaschen oder Gaußschen Wägung die abgehobenen Pfannen wieder auf die zugehörigen Endschneiden aufsetzen, eine Bedingung, der die gebräuchlichen Arretierungsmechanismen der Wagen in der Regel nicht genügen.

Bereits im Jahre 1878 hat Poynting[1]) das Mittel angegeben, wie diesem Übelstande abzuhelfen sei; die von ihm ausgedachte Art der Arretierung besteht darin, Schneiden und Pfannen während einer vollständigen Wägung überhaupt nicht voneinander zu trennen, sondern die Pfannen auch dann auf den Schneiden ruhen zu lassen, wenn man auf den Schalen die für die Wägung nötigen Vertauschungen der Gewichte vornimmt.

Der Gedanke Poyntings wurde im Jahre 1886 von Thiesen[2]) wieder aufgenommen und 1891 in die Tat umgesetzt, als ihm die Aufgabe zufiel, für die Ausrüstung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt eine für Gaußsche Wägungen geeignete Wage von 10 *kg* Tragkraft zu konstruieren, welche zugleich die Ausführung hydrostatischer Wägungen in bequemer Weise ermöglichen sollte. Die Fertigstellung der von P. Stückrath in Friedenau gebauten Wage wurde durch verschiedene Umstände, namentlich durch die Schwierigkeiten bei der Justierung, stark verzögert, sodaß erst 1897 die ersten brauchbaren Wägungen mit dem Instrument ausgeführt werden konnten.

Inzwischen hatte auch De Lannoy[3]) einen auf dem gleichen Gedanken beruhenden Arretierungsmechanismus für Präzisionswagen ausgebildet und beschrieben. Wägungsresultate sind von ihm nicht mitgeteilt, sodaß man sich über die Leistungsfähigkeit seiner Anordnung kein Urteil bilden kann.

[1]) J. H. Poynting, *Proc. Roy. Soc. London* **28.** *S. 2. 1878.*

[2]) M. Thiesen, *Études sur la balance. Trav. et Mém. du Bureau Intern. des Poids et Mesures* **5.** *B I. S. 8. 1886.*

[3]) S. De Lannoy, *diese Zeitschr.* **17.** *S. 261. 1897.*



Im folgenden soll die Thiesensche 10 *kg*-Wage beschrieben werden. Die beigegebenen Fig. 1 und 2 zeigen die für hydrostatische Wägungen vorgerichtete Wage, und zwar Fig. 1 von hinten, Fig. 2 aus großer Nähe von vorn, sodaß der Wagebalken nicht mehr sichtbar ist, sondern durch das Wagegehäuse verdeckt wird. Außerdem ist in Fig. 2 das Wassergefäß entfernt, sodaß man die bei der Wägung in diesem

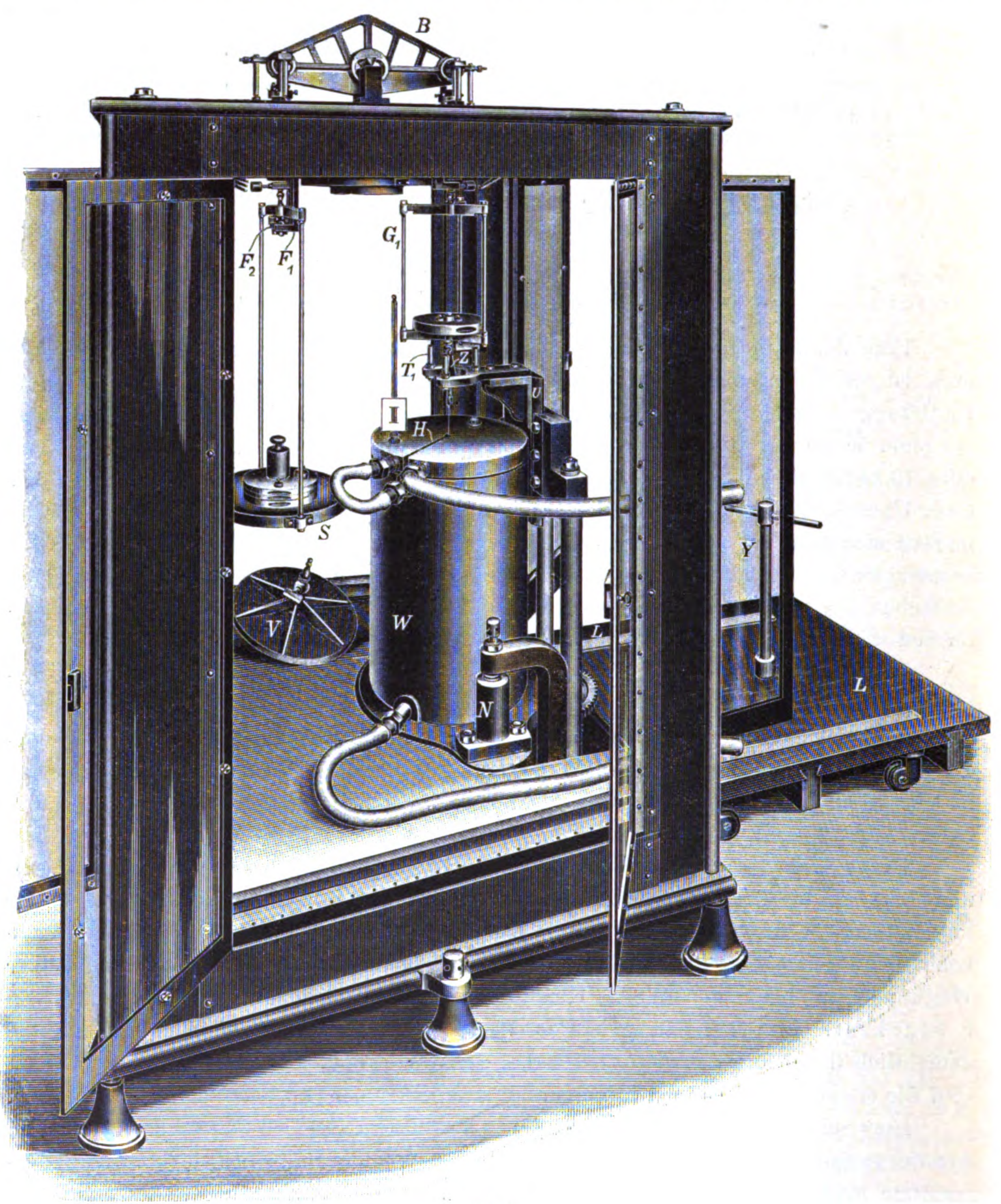


Fig. 1.

befindlichen Teile (Wassergehänge G_2 u. s. w.) abgebildet sieht. Soll die Wage zu Wägungen in der Luft dienen, was in der folgenden Beschreibung zunächst angenommen werden möge, so werden beide Gehänge, das Luftgehänge G_1 und das Wassergehänge G_2 entfernt und statt ihrer auch die linke Seite mit einer Schale S versehen, wie sie die rechte Seite auch bei den hydrostatischen Wägungen trägt.

Die ebene Pfanne, auf welcher die Mittelschneide des Wagebalkens B aufliegt, wird nicht, wie sonst bei Wagen allgemein üblich, von einer besonderen Säule getragen, sondern ruht auf der Decke eines sehr starken, viereckigen, gußeisernen Gehäuses von etwa 110 *cm* Seitenlänge und fast 150 *cm* Höhe, in welchem die Wageschalen bezw. die Gehänge schwingen. Eine solche Anordnung bietet einerseits den Vorteil größerer Stabilität, andererseits schafft sie unterhalb des Wagebalkens im Wagegehäuse eine

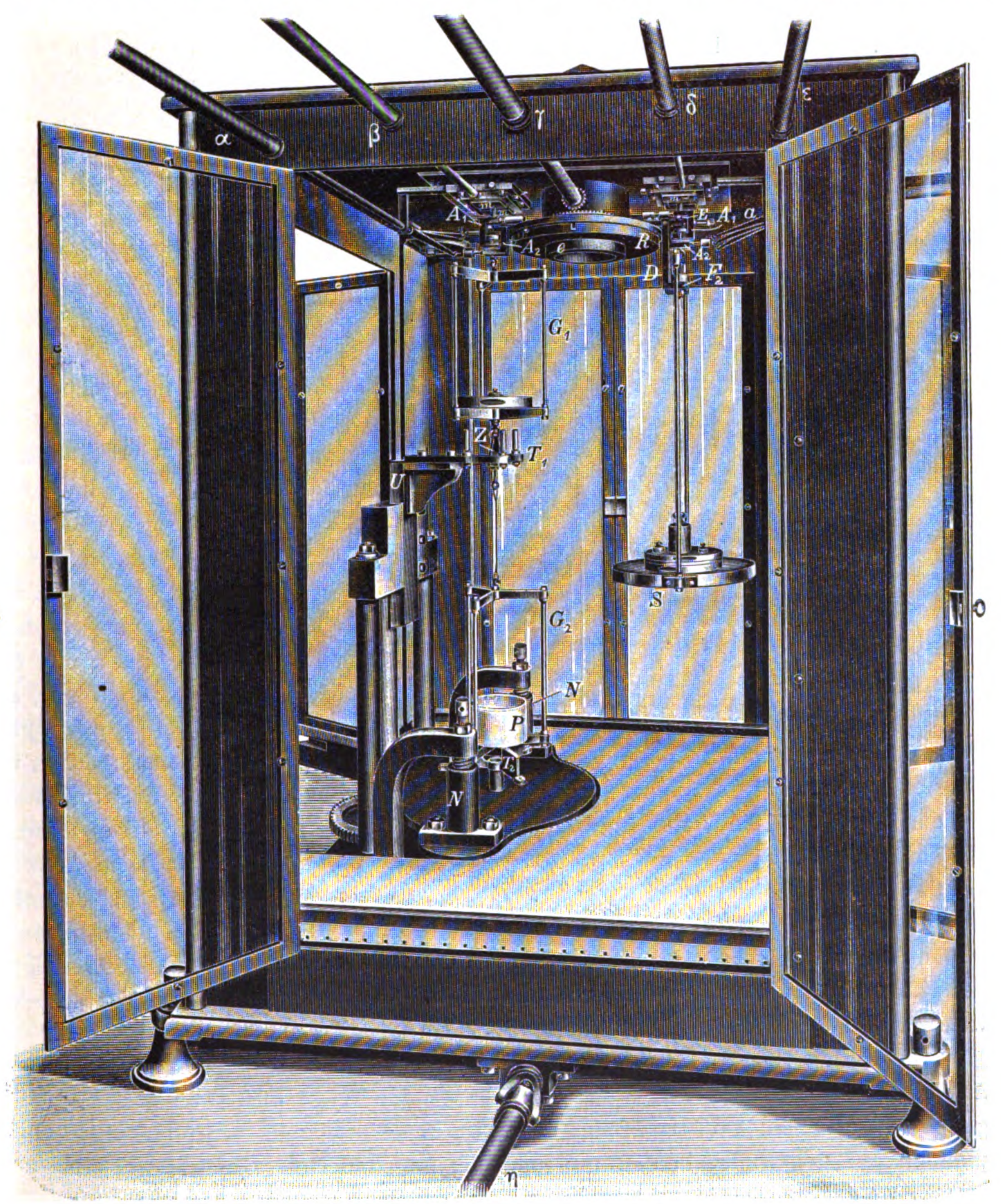


Fig. 2.

große Bewegungsfreiheit, da der Raum nicht durch die Tragsäule beengt ist. Der Wagebalken selbst ist in der Regel zwecks besseren Temperaturausgleichs und zum Schutz gegen Luftströmungen von einem in Fig. 1 abgenommenen, starkwandigen Kupferkasten überdeckt, in dessen Decke sich ein Fenster befindet, durch das hindurch die Schwingungen des Wagebalkens in bekannter Weise mittels eines Reflexionsprismas mit Spiegel und Skale aus größerer Entfernung abgelesen werden können.

An den Endschneiden des Wagebalkens greifen die Schalengehänge in der bei den Stückrathschen Wagebalken üblichen Weise an. Jedes Gehänge setzt sich nach unten hin in eine starke Spiralfeder und daran anschließend in einen Stahlzylinder fort, der die Decke des Wagegehäuses in einer passenden Öffnung durchsetzt. Dicht unterhalb der Decke des Wagegehäuses ist der Stahlzylinder kugelförmig verdickt (k in Fig. 3, welche von unten her einen Einblick in den Mechanismus gewährt); ein kurzes Stückchen tiefer trägt er einen nach der Mitte der Wage offenen Bügel A_1 (Fig. 2 u. 3), in welchem mittels Schneide ein nach außen offener Bügel A_2 hängt; der Bügel A_2 endlich trägt in einfacher Öse die Wagschale S bezw. das Gehänge G_1.

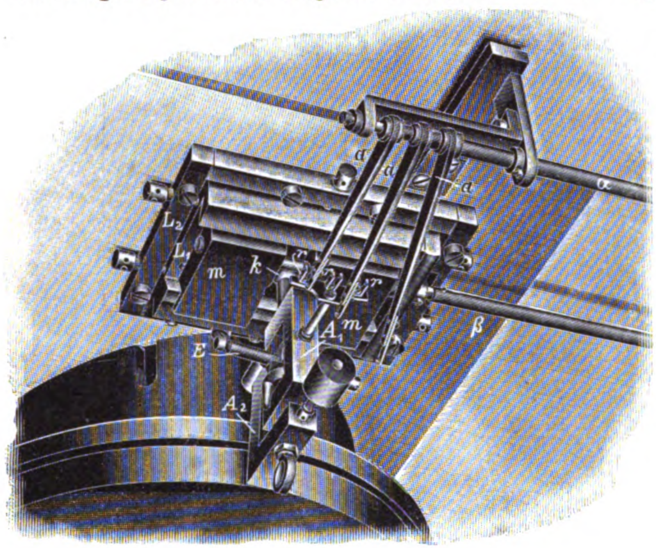


Fig. 3.

Die kugelförmige Verdickung k des Stahlzylinders befindet sich zwischen zwei in Messingschlitten m eingesetzten Stahlbacken, an deren eine eine vertikale Ebene angeschliffen und deren andere mit einer von oben nach unten laufenden zylindrischen Aussparung versehen ist. Mittels auf derselben Achse β (Fig. 3) aufsitzendem Rechts- und Linksgewinde können die Messingschlitten und damit die Stahlbacken einander genähert werden, bis sie die kugelförmige Verdickung k fassen und festklemmen. Da der Klemmechanismus zu beliebiger Zeit bei schwingender Wage, also innerhalb gewisser Grenzen bei beliebiger Höhe der Verdickung k sollte in Tätigkeit treten können, so mußte eine vielseitige Justierungsmöglichkeit der Klemmbacken vorgesehen werden. Fig. 2, besser noch Fig. 3 lassen erkennen, daß die Schlitten m m zu diesem Zwecke in einer Führung L_1 gleiten, welche durch Druckschrauben ihrerseits innerhalb eines festen, an der Decke des Wagekastens befestigten Rahmens L_2 in die richtige Lage einjustiert werden kann. Mit besonderer Sorgfalt ist hierbei darauf zu sehen, daß die Backen die kugelförmige Verdickung k in jeder Höhenlage genau im selben Augenblick berühren. Denn wäre dies nicht der Fall, so würde bei Betätigung des Klemmmechanismus ein seitlicher Druck auf das Endschneidengehänge ausgeübt, wodurch die Vorteile des Mechanismus gänzlich aufgehoben würden.

Ist die Justierung der Klemmvorrichtung eine vollkommene, so werden durch Anziehen der Klemmbacken auf beiden Seiten der Wage nicht nur weitere Schwingungen des Wagebalkens verhindert, sondern es werden auch beiderseits die Gehängepfannen auf den Endschneiden mit merklich ungeändertem Druck festgehalten; der Druck, welcher vorher durch die Belastung der Wage auf die Endschneiden ausgeübt wurde, wird jetzt, auch bei kleinen in den Klemmvorrichtungen etwa auftretenden Deformationen, durch die in die Gehänge eingeschalteten Federn seinem hauptsächlichen Betrage nach aufrecht erhalten. Man hat nach erfolgter Klemmarretierung die Möglichkeit, unterhalb der Arretierung die Lasten zu vertauschen oder durch andere zu ersetzen. Löst man hernach die Klemmarretierungen, so ist man sicher, daß — sofern die Größe der Belastung nicht wesentlich geändert ist — Pfannen

und Endschneiden des Wagebalkens in denselben Punkten aufeinander liegen wie vorher.

Die Klemmarretierungen werden vom Platze des Beobachters aus etwa 3 *m* Entfernung betätigt; hierzu dienen die in Fig. 2 sichtbaren Übertragungsstangen β und δ.

Außer der Klemmarretierung besitzt die Wage die gewöhnliche Arretierungsvorrichtung zum Abheben des Wagebalkens von der Mittelpfanne sowie der Gehänge von den Endschneiden. Die Bewegung der diesen Zwecken dienenden Mechanismen geschieht wie bei allen Stückrathschen Wagen durch Drehen einer einzigen Achse, und zwar mittels γ, wieder vom Platze des Beobachters aus.

In γ sind durch konzentrische Lagerung noch zwei weitere Achsen zur Wage geführt, welche dazu dienen, nach erfolgter Klemmarretierung bei Wägungen in Luft die Bügel A_2 nebst daranhängenden Schalen S und den hierauf befindlichen Belastungen zwecks Ausführung einer Gaußschen Wägung in den Bügeln A_1 zu vertauschen. Durch Drehen der einen Achse wird zunächst ein Ring R (Fig. 2), der auf einem Zylinder e schleift, bis an einen Anschlag gehoben. An dem Ringe ist auf jeder Seite ein zweischenkliger Bock D befestigt, welcher in der tiefsten Stellung des Ringes R dem Gehängebügel A_2 freien Spielraum läßt (Fig. 2 zeigt den Bock D nur auf der rechten Seite der Wage; auf der linken Seite, welche auch in Fig. 3 zur Darstellung kommt, ist er bei hydrostatischen Wägungen, um die Bewegungen des Gehänges G_1 nicht zu hindern, entfernt). Wird der Ring R durch Drehen der zweiten Achse in γ in die höchste Lage, die Fig. 2 wiedergibt, übergeführt, so hebt der Bock D einerseits durch Eingreifen in einen Knebel E (Fig. 2 u. 3) den Bügel A_2, dessen Auflagerungsschneide den Schneiden des Wagebalkens parallel ist, von der Pfanne des Bügels A_1 ab. Andererseits (Fig. 1 u. 2) hebt der Bock auch die Schale S ein wenig an, wobei diese sich mit zwei Spitzen auf eine ebene (F_1) und in eine trichterförmige Pfanne F_2 des Bockes auflegt. Dreht man jetzt die dritte in γ gelagerte Achse, so wird vermittels eines Zahnradgetriebes der Ring R in Rotation um den Zylinder e versetzt, wobei durch die festen Böcke D beiderseits Bügel A_2 und Schalen S mitgeführt werden. Nach Vollführung einer Drehung um 180° tritt ein Anschlag in Wirksamkeit, der eine weitere Bewegung hindert. Bügel A_2 und Schalen S sind jetzt rechts und links vertauscht. Durch Senken des Ringes R setzt man endlich die vertauschten Bügel A_2 wieder auf die Bügel A_1 auf und gibt die Schalen S frei.

Die Einrichtung der Wage zu Luftwägungen wird durch Mechanismen vervollständigt, welche gestatten, bei geschlossenem Wagekasten vom Platze des Beobachters aus kleine Hilfsgewichte in Form von Reitern zu beiden Seiten der Wage zuzufügen. Hierzu dienen die Stangenverbindungen α und ε, welche jede wieder drei konzentrische Achsen enthalten. Die Achsen bewegen beiderseits drei Arme a (Fig. 2 u. 3), auf deren Enden die Reitergewichte aufsitzen. Schlägt man durch Drehen der Achsen die Arme a von oben nach unten durch die zugehörigen Rechen r (Fig. 3) hindurch, so wird der vorher auf a befindliche Reiter auf r abgesetzt und damit der Belastung der Wage zugefügt. Durch die umgekehrte Bewegung der Arme von unten nach oben lassen sich die Reiter wieder abheben. Durch zweckmäßige Wahl der Größe der Reiter werden viele Kombinationen in den Zulagegewichten ermöglicht. Bringt man beispielsweise auf jede Seite der Wage Reiter von 1, 3, 9 *mg* (Potenzen von 3!), so lassen sich aus Summen und Differenzen von links und rechts beiderseits Zusatzbelastungen zusammenbauen, die von 1 *mg* bis 13 *mg* ($= 9 + 3 + 1$ *mg*) von Milligramm zu Milligramm fortschreiten.

Es ist jetzt noch einiges über die Einrichtungen zu sagen, welche bei hydrostatischen Wägungen benutzt werden. Wie schon erwähnt, wird alsdann die links befindliche Wagschale durch zwei Gehänge G_1 und G_2 ersetzt, welche durch einen dünnen Draht miteinander verbunden sind. Um den Abstand des unteren Gehänges von dem oberen etwas verändern zu können, ist der Draht nicht direkt, sondern mittels eines Zwischenstückes Z am Gehänge G_1 befestigt; das Zwischenstück kann durch Hineinschrauben des unteren Teiles in den oberen verkürzt, durch Herausdrehen der Schraube verlängert werden. Die Gehänge haben nicht die Form von Wagschalen, sondern werden unten und oben aus je drei, in Winkeln von 120° gegen einander angeordneten Streben gebildet, die durch Messingstangen miteinander verbunden sind. Unterhalb des oberen Gehänges spielt ein dreizackähnlicher Support T_1, der als Arm an einem in vertikalem Bett gleitenden Schlitten U sitzt. Durch ein Zahnradgetriebe kann der Schlitten mittels einer Achse η vom Platze des Beobachters in der Höhe verschoben werden. Beim Hochgang des Schlittens U greift der Support T_1 durch die Streben des Gehänges G_1 hindurch und hebt die Last, die zum Teil wenigstens aus scheibenförmigen Gewichten bestehen muß, ab; das entlastete Gehänge kann dann frei zwischen den Fingern des Supports schwingen. Durch Senken des Schlittens wird umgekehrt die Last wieder auf das Gehänge G_1 aufgesetzt. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei dem unteren Gehänge G_2, das sich im Wassergefäß W (Fig. 1) befindet. Hier ist auf dem Boden des Wassergefäßes ein Support T_2 angeordnet, welcher in gleicher Weise wie der Support T_1 durch die Streben des Gehänges G_2 hindurchgreifen kann. Das Abheben der Last (in Fig. 2 ein Porzellangefäß P) geschieht durch Heben des ganzen Wassergefäßes W, indem eine zweite durch η hindurchgehende Achse mittels Schrauben NN den gußeisernen Teller hebt, auf welchem das Wassergefäß ruht.

Der Wasserbehälter W ist ein doppelwandiges rundes Metallgefäß von 35 *cm* Durchmesser und 50 *cm* Höhe; der innere zur Aufnahme des destillierten Wassers dienende Raum ist verzinnt. Zwischen dem Mantel und Deckel einerseits und Bädern konstanter Temperatur andererseits wird mit Hilfe einer Zentrifugalpumpe eine dauernde Wasserzirkulation unterhalten. Das temperierte Wasser tritt (vgl. Fig. 1) von unten her in den Mantel des Wassergefäßes ein, durchströmt diesen, tritt von oben in den Deckel ein und wird von dort wieder zu den Bädern konstanter Temperatur zurückgeleitet. Die Montierung des Gehänges G_2 im Wassergefäß und die Drahtverbindung mit dem Gehänge G_1 erfolgt bei abgenommenem Deckel. Erst wenn man sich von dem sicheren Ineinandergreifen des Gehänges G_2 und des Supports T_2 überzeugt hat, wird der Deckel übergeschoben, der, um den Aufhängedraht nicht zu stören, mit einem Schlitz H versehen ist. Schließlich wird die Schlauchverbindung für das temperierende Wasser hergestellt und der Schlitz H zum Schutz gegen die Außenluft mit Watte verstopft. Mit Hilfe der geschilderten Temperiereinrichtung ist es möglich gewesen, im Innern des Wassergefäßes genügend konstante Temperaturen noch über 40° hinaus herzustellen und festzuhalten.

Ein wesentliches Erfordernis für das Gelingen von Wasserwägungen ist die möglichste Befreiung des destillierten Wassers von der darin gelösten Luft, da sich bekanntlich die im Wasser gelöste Luft im Laufe der Zeit gerne an den zu wägenden Körpern abscheidet, dadurch ihren Auftrieb vergrößert und falsche Wägungsresultate herbeiführt.

Die Manipulationen des Entfernens der Luft aus dem Wasser innerhalb des Wagekastens vorzunehmen, erschien aus verschiedenen Gründen nicht zweckmäßig.

Es ist deshalb der Teller, welcher das Wassergefäß W trägt, innerhalb der Wage auf Schienen laufend angeordnet. Nachdem die zunächst liegenden Türen des Wagegehäuses geöffnet sind, kann ein gleichfalls mit Schienen versehener Wagen LL (Fig. 1) an die Wage herangeführt und mit einem Schlüssel Y in passender Höhe festgestellt werden. Es gelingt dann mit geringer Kraftanstrengung, die ganze zu den Wasserwägungen dienende Anordnung (Teller und Wassergefäß W nebst Schlitten U und Support T_1) aus dem Zahnradverband zu lösen und auf den Wagen LL überzuführen. Mit Hilfe des Wagens kann die ganze Anordnung dann an eine passende Stelle gefahren und später wieder an die Wage gebracht werden. Zum Zwecke der Evakuierung wird der geschlitzte Deckel durch den in Fig. 1 sichtbaren, auf das Wassergefäß W aufgeschliffenen Deckel V ersetzt. Zum Evakuieren reicht die Wasserluftpumpe aus, wenn gleichzeitig durch den Mantel des Wassergefäßes W heißes Wasser oder Dampf geleitet wird.

Zum Schluß mögen einige Wägungsbeispiele mitgeteilt werden.

a) *Wägungen in Luft* nach der Gaußschen Methode. Der Vertauschungsmechanismus der Wage gestattet nur ein Umsetzen der zu vergleichenden Gewichte einschließlich der Schalen S und der Bügel A_2. Zur Bestimmung der Differenz der Gewichte ist dann noch eine zweite Wägung nach der Gaußschen Methode nötig, bei welcher die Gewichte auf den Schalen vertauscht sind. Diese zwei zusammengehörigen Wägungen liefern dann aber auch zugleich die Differenz der beiden Systeme (Schale S + Bügel A_2), die zur Unterscheidung mit I und II bezeichnet werden mögen.

Die folgende Wägung zeigt die Vergleichung einer 5 *kg*-Platte $W5$ mit einer 4 *kg*-Platte $W4$ + dem Kilogramm ϑ; ein Gewicht $\vartheta(30')$ von nominell 30 *mg* dient zum Ausgleich. Das Zulagegewicht 5 *mg* ist innerhalb der Wägungsgenauigkeit als richtig anzusehen. Die Wägung ist symmetrisch zur Mitte in Hin- und Rückgang ausgeführt; die Gleichgewichtslagen sind Millimeterteile n auf einer Skale in 3 *m* Entfernung von der Wage.

$$A = I + W5 \qquad B = II + W4 + \vartheta + \vartheta(30')$$

Belastung		Gleichgewichtslage n			
links	rechts	Hingang	Rückgang	Mittel	Mittel
A	B	350,7	350,9	350,8	356,0
$A + 5\,mg$	B	361,2	361,1	361,2	
B	A	361,1	361,3	361,2	$356{,}2_5$
B	$A + 5\,mg$	351,3	351,2	351,3	

Die Übereinstimmung im Hin- und Rückgang ist dank der Wirksamkeit der Klemmarretierung eine vorzügliche; die Unterschiede betragen höchstens $0{,}2\,n = 0{,}1\,mg$.

Die Empfindlichkeit der Wage bestimmt sich zweimal aus der Differenz je zweier Gleichgewichtslagen als

$$5\,mg = 10{,}4\,n \quad \text{und} \quad 5\,mg = 9{,}9\,n,$$

woraus im Mittel folgt

$$n = 0{,}49\,mg.$$

Während anderer Wägungen mit 5 *kg* Belastung ergab sich

$$n = 0{,}47\,mg; \qquad n = 0{,}51\,mg; \qquad n = 0{,}49\,mg.$$

Bei 4 *kg* Belastung war im Mittel $n = 0{,}46\,mg$, bei einer Belastung von 130 *g* $n = 0{,}40\,mg$.

Als Resultat folgt in bekannter Weise aus obiger Wägung

$$A - B = -2{,}50\,mg - 0{,}12\,n = -2{,}50\,mg - 0{,}06\,mg = -2{,}56\,mg.$$

Berücksichtigt man den Wert des Gewichtsstückes ϑ (30′), so folgt schließlich

$$W5 - (W4 + \vartheta) + (I - II) = +27{,}4\ mg. \qquad 1)$$

In ähnlicher Weise ergibt sich nach Vertauschen der Gewichte auf den Schalen

$$W5 - (W4 + \vartheta) - (I - II) = +33{,}6\ mg. \qquad 2)$$

Durch Kombination beider Gleichungen folgt zunächst

$$I - II = -3{,}1\ mg.$$

In anderen Wägungskombinationen wurde gefunden

$$I - II = -3{,}1\ mg; \qquad I - II = -3{,}1\ mg; \qquad I - II = -3{,}3\ mg.$$

Aus den Gleichungen 1) und 2) folgt weiter

$$W5 - (W4 + \vartheta) = +30{,}5\ mg.$$

Hierin ist einerseits der Wert für ϑ einzusetzen, andererseits ist das Wägungsresultat auf den leeren Raum zu reduzieren. So erhält man schließlich

$$W5 - W4 = 1\ kg + 52{,}59\ mg.$$

In analoger Weise ergab sich durch Vergleichung mit Summen bekannter Kilogramme

$$W5 = 5\ kg + 39{,}59\ mg,$$
$$W4 = 4\ kg - 13{,}20\ mg.$$

Die letzten drei Gleichungen, von denen eine überschüssig ist, ergeben nur einen Schlußfehler von 0,20 *mg*; man kann aus ihnen

$$W5 = 5\ kg + 39{,}52\ mg,$$
$$W4 = 4\ kg - 13{,}13\ mg$$

mit einer Genauigkeit von wenigstens $\pm$ 0,1 *mg* ableiten.

Mit dieser Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-8}$ der Belastung steht die beschriebene 10 *kg*-Wage den besten Kilogrammwagen gleich, bei denen für die Einzelwägung 0,01 *mg* als die Grenze des Erreichbaren gilt, die nur, wie z. B. bei den Wägungen im *Bureau International des Poids et Mesures* in Sèvres, durch vielfache Häufung der Beobachtungen und Verknüpfung der Wägungen in den mannigfachsten Kombinationen noch hinausgeschoben werden kann. Landolt gibt in seiner zusammenfassenden Arbeit „Über die Erhaltung der Masse bei chemischen Umsetzungen“[1]) an, daß der mittlere Fehler des Mittels aus 4 bis 6 Einzelwägungen bei Belastungen zwischen 700 und 950 *g* auf der Stückrathschen und der alten Rueprechtschen Wage zwischen $\pm$ 0,004 und $\pm$ 0,016 *mg* schwanke. Auf der neuen Rueprechtschen Wage betrug bei Belastungen von 400 bis 550 *g* der mittlere Wägungsfehler des Mittels aus 4 bis 6 Einzelwägungen $\pm$ 0,001 bis $\pm$ 0,005 *mg*.

b) *Wägungen in Wasser* nach der Bordaschen Methode. Es soll das Gewicht des 4 *kg*-Plattengewichts $W4$ in Wasser bestimmt werden. Die Wägung geschieht in der Weise, daß durch Heben und Senken des Wassergefäßes W abwechselnd das Gewicht $W4$ vom Gehänge G_2 abgehoben und wieder aufgesetzt wird. Durch gleichzeitiges Senken und Heben des Supports T_1 wird ein dem Gewicht von $W4$ im Wasser gleiches Gewicht in Luft auf das Gehänge G_1 aufgesetzt oder von diesem abgehoben. Die rechte Seite der Wage ist mit einer passenden Tara belastet.

---

[1]) *Abh. d. Berl. Akad. 1910. Abh. I, S. 8 u. 14.*

Es sei

$A = W'4$ im Wasser; $B = 3496{,}55205\,g$ in Gewichtsstücken in Luft; Tara $= 3568{,}15\,g$.

Belastung		Gleichgewichtslage n		
links	rechts	Hingang	Rückgang	Mittel
A	Tara + 9 *mg*	323,7	324,9	324,3
$B + 5$	Tara	325,7	325,9	325,8
B	Tara	318,0		

Empfindlichkeit 5 *mg* = 7,8 *n*, folglich *n* = 0,64 *mg*.

Als Wägungsresultat ergibt sich aus den Beobachtungen

$$A - B = +14{,}00\,mg - 1{,}5\,n = +14{,}00\,mg - 0{,}96\,mg = -13{,}04\,mg.$$

Nach einiger Zeit ergab sich unter fast genau gleichen meteorologischen Verhältnissen und bei derselben Wassertemperatur (18,94°)

$$A - B = -13{,}26\,mg.$$

Der Unterschied zwischen den beiden hydrostatischen Wägungen beträgt somit weniger als $^1/_4$ *mg*.

Es mag erwähnt werden, daß mit der hier beschriebenen 10 *kg*-Wage im Jahre 1897 Untersuchungen über die relative Dichte von Quecksilber und Wasser in Temperaturen zwischen 0° und 40° angestellt wurden, worüber im Tätigkeitsbericht der Reichsanstalt (*diese Zeitschr.* **18.** *S. 138. 1898*) einige Angaben gemacht sind. Die Wägungen wurden mit einer Quecksilbermasse von 9 *kg* angestellt und ergaben für die Dichte des Quecksilbers bei 0° den Wert 13,59545.

Reflexionsprisma mit scharfer Kante.

Von

F. Löwe in Jena.

(Mitteilung aus der optischen Werkstätte von Carl Zeiss.)

Das im folgenden beschriebene Prisma bewirkt in erster Linie, daß zwei getrennte ausgedehnte Bildfelder in einer scharfen Kante sich berühren und in einer und derselben Ebene abgebildet werden. Das zweiteilige neue Bildfeld ist also einem einheitlichen ebenen Objekte gleichwertig und der weiteren optischen Abbildung zugänglich; es ist sowohl im parallelen Strahlengang wie im konvergenten oder divergenten brauchbar.

Wie Fig. 1 lehrt, ist das Prisma einfach ein gleichseitiges Prisma mit einer scharfen Kante und drei polierten Seitenflächen. Diejenigen Seiten, die sich in der scharfen Kante schneiden, dienen dem Eintritte und der totalen Reflexion, die dritte Seite dem Austritte der Strahlen. Ein Strahl, der senkrecht in das Prisma eintritt, geht auch senkrecht durch die dritte Seite wieder hinaus.

Der Strahl FG in Fig. 1 bilde mit der Normalen der Seite AC in Luft einen Winkel von α Grad und im Prisma einen von β Grad. Die Figur zeigt, daß der Strahl mit der Normalen zur Austrittsfläche AE im Prisma ebenfalls einen Winkel von β Grad bildet und um α Grad gegen die Normale der Austrittsfläche AE geneigt ist.

Ein stärker brechbarer, unter demselben Einfallswinkel α eintretender Strahl habe den Brechungswinkel β'; denselben Winkel bildet er auch mit der Normalen der Fläche AE im Prisma, infolgedessen tritt er unter demselben Winkel α aus dem Prisma aus wie der zuerst betrachtete weniger brechbare Strahl, und zwar seitlich

versetzt. Zwischen Strahlen verschiedener Farbe entsteht also bei dem hier verfolgten Wege durch das Prisma kein Winkelunterschied: das Prisma ist achromatisch. Es wirkt also für jedes Strahlenbüschel, das überhaupt an AC oder EC total reflektiert wird, wie ein Dovesches Prisma. Stellt man das Prisma aus einem hochbrechenden Kronglas ($n_D = 1{,}61$) her, so berechnet sich mit Rücksicht auf die Totalreflexion das nutzbare angulare Gesichtsfeld des Prismas zu $2 \times 36^0 = 72^0$ in Luft, ein Betrag, der allerdings nur in der Nähe der scharfen Kante voll ausgenutzt werden kann.

Durch Spiegelung an der Seite EC (Fig. 2) wird die Hälfte BC der Seite AC in $B'C$ abgebildet, und durch Spiegelung an AC die Hälfte DC der Seite EC in $D'C$. Nach Fig. 2 liegen die Punkte D', C und B' auf einer Geraden, oder die Spiegel-

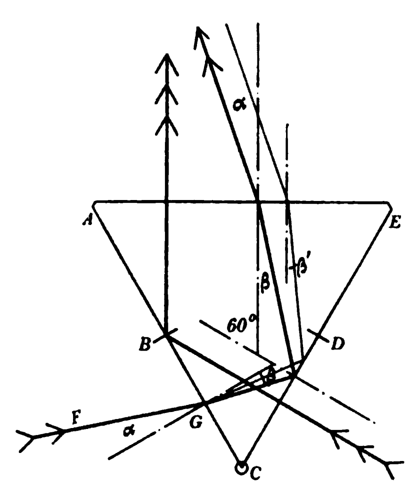


Fig. 1. 60°-Prisma mit scharfer Kante C. Durch die Dispersion wird der Strahl FG in verschiedene Strahlen zerlegt; nach dem Austritt aus der Fläche AE sind diese einander parallel.

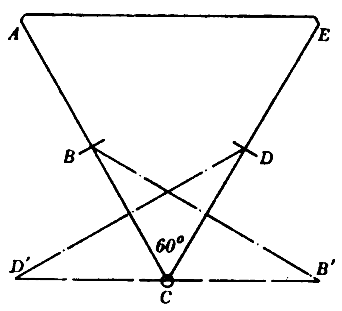


Fig. 2. Die Bildebene BC wird durch die Spiegelung an CE in $B'C$ abgebildet, DC in $D'C$; $B'C$ und $D'C$ liegen in einer Ebene.

bilder der beiden Reflexionsflächen fallen in eine durch die Trennungskante C gehende Ebene. Dasselbe gilt nun auch von reellen (oder virtuellen) Bildern, die durch optische Systeme in den Ebenen der Prismenseiten BC und DC entworfen werden. So bietet das Prisma ein neues Mittel für die Aufgabe, die Gesichtsfelder zweier Mikroskope neben einander und ohne störende Trennungslinie abzubilden. Ein gemeinsames Okular für zwei sonst selbständige Mikroskope gestattet z. B. zu beobachten, ob das eine von zwei gleichen Präparaten, die unter die beiden Mikroskope gebracht sind, sich bei irgend einer Behandlung, sei es Bestrahlung, Erwärmung, Elektrisierung u. s. w., verändert oder nicht, wobei man immer das unbehandelte Objekt in demselben Gesichtsfelde daneben hat und, wenn nötig, einen Teil des unveränderten sich unmittelbar an denselben Teil des veränderlichen Objekts anschließen lassen kann. So werden die geringsten Veränderungen erkennbar; außerdem ist das zweiteilige Gesichtsfeld, da es ein durchaus ebenes Bild ist, der photographischen Fixierung zugänglich.

Fig. 3 stellt das Schema eines monokularen Vergleichsmikroskops für Meßzwecke dar, das zwei Maßstäbe P_1 P_2 in der durch Fig. 4 veranschaulichten Weise wiedergibt. Die Messung der Abweichungen zwischen einem Teilstrich des zu prüfenden und einem des Normalmaßstabs kann in dreierlei Weise vorgenommen werden, entweder durch Verschieben eines der Maßstäbe auf einem Objektschlitten (nach Art der Objektschraubenmikrometer) oder durch ein Okularschrauben-Mikrometer, in dessen Fadenkreuzebene das zweiteilige Gesichtsfeld in bekannter Weise durch ein kleines Umkehrsystem abgebildet wird, oder schließlich wie bei den großen photographischen Komparatoren durch Ausmessen der Negative. Was soeben über die Maßstabvergleichung gesagt ist, gilt in gleicher Weise für den Vergleich von Spektrogrammen.

Eine ganz andere Gruppe optischer Instrumente, in denen das Prisma von Nutzen sein kann, ist diejenige der Kolorimeter[1]) und Photometer[1]). Hier handelt es sich darum, zwei Felder, die auf ihr Helligkeitsverhältnis verglichen werden sollen, möglichst dicht aneinanderzubringen, mit anderen Worten, die Trennungslinie zwischen beiden Feldern möglichst schmal und scharf zu machen. Diese Forderung wird von dem neuen Prisma aufs beste erfüllt, da ein Prismenwinkel von 60° für das Schleifen einer scharfen Kante erheblich geringere Schwierigkeiten bietet als ein spitzer oder ein stumpfer Winkel, wie etwa bei Zwillingsprismen.

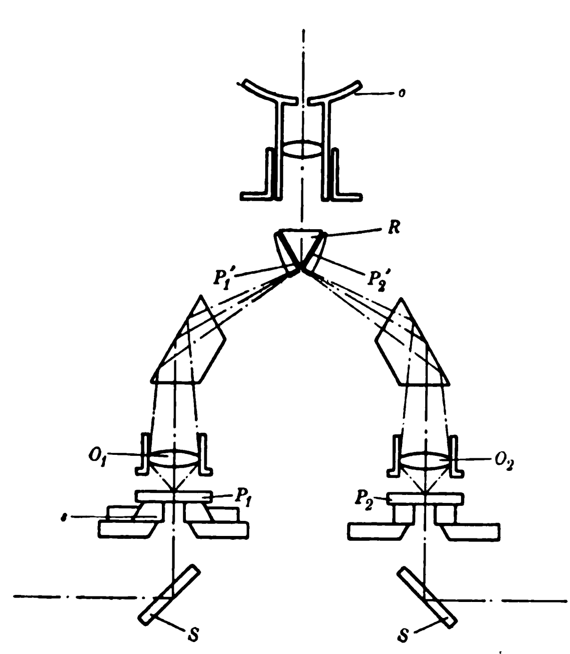


Fig. 3. Schematische Darstellung eines monokularen Vergleichsmikroskops für Maßstäbe.

SS **Spiegel;** P_1 **und** P_2 **die beiden (durchsichtig angenommenen) Maßstäbe;** *s* **Mikrometerschlitten;** O_1 **und** O_2 **die Objektive;** P_1' **und** P_2' **die Ebenen der vergrößerten Bilder von** P_1 **und** P_2**;** *R* **Reflexionsprisma;** *o* **Okular.**

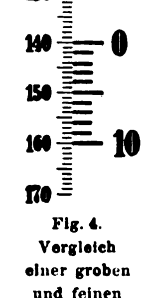


Fig. 4. Vergleich einer groben und feinen Teilung.

So hat das Prisma sich u. a. als Kolorimeterkopf und als Photometerkopf bestens bewährt und erscheint auch für ein Schwärzungsphotometer sehr geeignet.

Ein Mangel des Prismas liegt darin, daß die rechte Hälfte des zweiteiligen Gesichtsfeldes durch das von links kommende Strahlenbüschel beleuchtet wird und umgekehrt. In denjenigen Fällen, wo es erwünscht ist, wird man entweder ein umkehrendes Okular-System nehmen oder die Vertauschung von rechts und links durch eine Spiegelung bewirken; in jedem Falle ist es wichtig, sich über die Lage der Eintrittspupille und ihrer Bilder Rechenschaft zu geben.

Über die Berechnung von Drehspulgalvanometern.

Von
H. Diesselhorst in Braunschweig.

Daß Galvanometer mit beweglicher Spule am vorteilhaftesten in der Nähe des aperiodischen Grenzzustandes sind, ist seit längerer Zeit erkannt und mehrfach hervorgehoben worden. Die Beziehungen, welche in diesem Zustand zwischen den Konstanten des Galvanometers bestehen, sind in den letzten Jahren besonders von den Herren Jaeger[2]) und White[3]) mehrfach diskutiert worden und sollen zunächst als Grundlage des folgenden kurz zusammengestellt werden. Dabei werden folgende Bezeichnungen benutzt:

---

[1]) D. R. G. M. Nr. 293087.

[2]) W. Jaeger, *diese Zeitschr.* ***23.*** *S. 261 u. 353. 1903;* ***28.*** *S. 206. 1908; Ann. d. Physik* ***21.*** *S. 64. 1906.*

[3]) W. P. White, *Phys. Rev.* ***19.*** *S. 305. 1904;* ***23.*** *S. 382. 1906.*

H = Intensität des Magnetfeldes,
F = Windungsfläche der Spule,
K = Trägheitsmoment des beweglichen Systems,
D = Direktionskraft der Aufhängung,
W = aperiodischer Grenzwiderstand in *C.G.S.*,
W^* = $10^{-9}\,W$ = derselbe in Ohm,
$T = 2\pi\sqrt{\frac{K}{D}}$ = (ganze) Schwingungsdauer bei fehlender Dämpfung,
J = Stromstärke in *C.G.S.*,
J^* = dieselbe in Ampere,
α = Ausschlagswinkel in Bogenmaß,
$x = 2000\,\alpha$ = Ausschlag in *mm* an einer Skale in 1 *m* Abstand,
$S = \frac{\alpha}{J}$ = Stromempfindlichkeit,
$S^* = \frac{x}{J^*} = 200\,S$ = Ausschlag pro 1 Ampere,
$E = J\,W$ = elektromotorische Kraft im Stromkreis bei aperiodischem Grenzzustande in *C.G.S.*,
$E^* = 10^{-8}\,E$ = dieselbe in Volt,
$P = \frac{\alpha}{E} = \frac{S}{W}$ = Spannungsempfindlichkeit im aperiodischen Grenzfall,
$P^* = \frac{x}{E^*} = 2\cdot 10^{11}\,P$ = Ausschlag pro 1 Volt im aperiodischen Grenzfall.

Wo nichts anderes gesagt ist, sind sämtliche Größen im elektromagnetischen [*cm g* Sek.] System zu messen.

Für die Galvanometerschwingung gilt die Differentialgleichung[1])

$$K\frac{d^2\alpha}{dt^2} + p\frac{d\alpha}{dt} + D\alpha = 0,$$

wo t die Zeit und

$$p = \frac{(HF)^2}{w} + p_0 \qquad 1)$$

die gesamte Dämpfung und p_0 die Luft- und Rahmendämpfung bedeutet. w ist der Gesamtwiderstand im Galvanometerkreise.

Das Integral hat die Form

$$\alpha = e^{-\frac{2\Lambda t}{\tau}}\cdot\cos\frac{2\pi t}{\tau},$$

wo

$$\Lambda = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{4KD}{p^2} - 1}} \qquad 2)$$

das logarithmische Dekrement (bezogen auf Halbschwingungen) und

$$\tau = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{D}{K} - \frac{p^2}{4K^2}}} \qquad 3)$$

die (ganze) Schwingungsdauer bedeutet.

Würde keine Dämpfung vorhanden sein, d. h. $p = 0$ und nach Gl. 2) auch $\Lambda = 0$ sein, so wäre die Schwingungsdauer

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{K}{D}}. \qquad 4)$$

[1]) Vgl. z. B. F. Kohlrausch, Lehrbuch der prakt. Physik. § 108.

Ist der Stromkreis offen, also nur Luft- und Rahmendämpfung vorhanden ($p = p_0$), so ist das Dekrement

$$\Lambda_0 = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{4KD}{p_0^2} - 1}} \tag{5}$$

und die Schwingungsdauer

$$\tau_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{D}{K} - \frac{p_0^2}{4K^2}}}. \tag{6}$$

Wird die Dämpfung

$$p = 2\sqrt{KD}, \tag{7}$$

so tritt der aperiodische Grenzfall ein, in dem Λ und τ unendlich werden. Dies tritt ein für einen gewissen, als „aperiodischer Grenzwiderstand" bezeichneten Widerstand W, der sich nach Gl. 1) und Gl. 7) aus der Gleichung bestimmt:

$$\frac{(HF)^2}{W} + p_0 = 2\sqrt{KD}. \tag{8}$$

Fließt ein Strom J durch das Galvanometer, so besteht Gleichgewicht, wenn das Drehmoment $(HF)J$ des Stromes gleich ist dem rücktreibenden Drehmoment $D\alpha$ der Aufhängung. Das liefert für die Stromempfindlichkeit den Ausdruck

$$S = \frac{\alpha}{J} = \frac{(HF)}{D}. \tag{9}$$

Dieser läßt erkennen, daß man zur Erzielung großer Empfindlichkeit den aperiodischen Grenzzustand herstellen muß, über den man wegen des sonst eintretenden „Kriechens" nicht hinausgehen darf[1]), und das gleiche gilt von der Spannungsempfindlichkeit, die man aus S durch Division mit dem Widerstand erhält. Wir benutzen daher die Spannungsempfindlichkeit nur im aperiodischen Grenzfall und erhalten dann

$$P = \frac{\alpha}{E} = \frac{(HF)}{DW}. \tag{10}$$

Die fünf Gleichungen 1), 2), 5), 6) und 9) bilden ein System, durch welches zwei verschiedene Gruppen von je fünf Konstanten miteinander verknüpft werden, nämlich

$$p,\ p_0,\ (HF),\ K,\ D$$

und

$$w,\ \Lambda,\ \Lambda_0,\ \tau_0,\ S.$$

Ist die erste Gruppe gegeben, so läßt sich die zweite berechnen und umgekehrt. Die Konstanten der zweiten Gruppe sind dadurch ausgezeichnet, daß sie sich sämtlich am fertigen Instrument direkt einzeln messen lassen, während die Konstanten der ersten Gruppe, bis auf p, das nur eine zu dem speziellen Widerstand w gehörige Hilfsgröße bedeutet, eigentliche Konstruktionselemente sind. Es ist für die praktische Untersuchung und Vergleichung von Galvanometern wichtig, daß sich auf diese Weise die Konstruktionselemente noch am fertigen Instrument nachträglich bestimmen lassen. Die übrigen Konstanten T und W folgen dann direkt aus Gl. 4) und 8), und ebenso ergibt sich die zu dem speziellen Widerstand w gehörige Schwingungsdauer, deren direkte Beobachtung bei stärkerer Dämpfung ungenau wird, aus Gl. 3).

Um die Berechnung durchzuführen, müssen die Gleichungen 1), 2), 5), 6) und 9), die direkt für die zweite Gruppe entwickelt sind, nach der ersten aufgelöst werden. Man erhält dann das folgende Schema I:

[1]) Im aperiodischen Grenzzustand selbst ist der theoretisch bereits unendlich lange dauernde Ausschlag nach der Zeit T bis auf etwa 1 Prozent und nach 1,5 T bis auf etwa 1 Promille vollendet.

$$(HF) = \frac{\mathfrak{T}}{S}(a-\eta)w \qquad p = \frac{\mathfrak{T}^2}{S^2}(a-\eta)a\,w$$

$$D = \frac{\mathfrak{T}}{S^2}(a-\eta)w \qquad p_0 = \frac{\mathfrak{T}^2}{S^2}(a-\eta)\eta\,w$$

$$K = \frac{\mathfrak{T}^3}{4S^2}(a-\eta)w,$$

wo zur Abkürzung

$$a = \frac{A}{\sqrt{\pi^2 + A^2}}, \qquad \eta = \frac{A_0}{\sqrt{\pi^2 + A_0^2}} \quad \text{und} \quad \mathfrak{T} = \frac{\tau_0}{\sqrt{\pi^2 + A_0^2}}$$

gesetzt ist. Weiter erhält man

$$T = \pi\mathfrak{T}, \qquad \tau = \mathfrak{T}\sqrt{\pi^2 + A^2} \quad \text{und} \quad W = \frac{a-\eta}{1-\eta}w.$$

Man findet leicht aus den obigen Gleichungen oder direkt aus 5), daß

$$\frac{p_0}{2\sqrt{KD}} = \eta = \frac{A_0}{\sqrt{\pi^2 + A_0^2}}. \tag{11}$$

Der Ausdruck η stellt also, da $2\sqrt{KD}$ nach Gl. 7) gleich der aperiodischen Dämpfung ist, das Verhältnis der Dämpfung im offenen Kreis zur aperiodischen Dämpfung dar.

Wenn man in den Gleichungen des Schemas an Stelle des beliebigen Widerstandes w den aperiodischen Grenzwiderstand W nimmt, so fällt in den beiden Konstantengruppen je eine Konstante fort, nämlich es wird nach Gl. 7) $p = 2\sqrt{KD}$ und nach Gl. 2) $A = \infty$.

Es bleiben die zwei Gruppen von je vier Konstanten

$$(HF), \; K, \; D, \; p_0 \quad \text{und} \quad W, \; A_0, \; \tau_0, \; S.$$

Die Formeln zur Berechnung der ersten Gruppe aus der zweiten erhält man, wenn man in dem Schema $a = 1$ und $w = W$ setzt.

Wir bemerken noch, daß man an Stelle der Stromempfindlichkeit S auch die Spannungsempfindlichkeit im aperiodischen Grenzfall P als vorgeschrieben ansehen kann und ebenso an Stelle der Schwingungsdauer τ_0 im offenen Kreise die ideale Schwingungsdauer ohne Dämpfung T und schließlich an Stelle des Dekrementes A_0 das Verhältnis der Dämpfungen η. Man hat dann in den Formeln des Schemas außer $a = 1$ und $w = W$ einzusetzen

$$S = PW \qquad \text{und} \qquad \mathfrak{T} = \frac{T}{\pi}.$$

Dadurch gewinnt man die Gleichungen II:

$$(HF) = \frac{T}{\pi P}(1-\eta) \qquad K = \frac{T^3}{4\pi^3 P^2 W}(1-\eta)$$

$$D = \frac{T}{\pi P^2 W}(1-\eta) \qquad p_0 = \frac{T^2}{\pi^2 P^2 W}(1-\eta)\eta.$$

Die Gleichungen II lösen die Aufgabe, zu vorgeschriebenen Werten P, W, T und η die Konstruktionselemente $(HF), D, K$ und p_0 zu finden. Da diese voneinander unabhängig sind, kann man stets ein Galvanometer mit den vorgeschriebenen Konstanten herstellen, solange die berechneten Werte der Konstruktionselemente innerhalb der praktisch möglichen Grenzen liegen.

Wenn nun auch die Werte (HF), D, K und p_0 bestimmt sind, so ist damit noch nicht die Konstruktion völlig festgelegt, da vor allem Form der Spule und die Wahl der Drahtstärke freistehen, sowie die Wahl des Materials für Spule und Aufhängung und die Art der letzteren. Die Freiheit, die man hier hat, läßt sich dazu benutzen,

über eine weitere praktisch wichtige Konstante des Galvanometers bestimmte Vorschriften zu machen, nämlich den Klemmenwiderstand W_k oder, was auf dasselbe hinauskommt, den im aperiodischen Grenzfall zur Verfügung stehenden äußeren Widerstand $W_a = W - W_k$.

Wir haben dann ein Galvanometer zu berechnen mit vorgeschriebenen Werten der Konstanten P, T, W, W_a und η. Die Werte für (HF), D, K und p_0[1]) ergeben sich direkt aus den Gleichungen des Schemas II.

Die zweite dieser Gleichungen zeigt ohne weiteres, daß zu großer Empfindlichkeit eine kleine Direktionskraft erforderlich ist.

Die Vorschrift von W_a nötigt uns, näher auf die Konstruktionsdetails einzugehen. Dabei benutzen wir folgende Bezeichnungen:

W_a = äußerer Widerstand,
W_0 = Widerstand der Spule,
W_1 = „ „ Aufhängung,
l_1 und l_2 die Längen der beiden die Direktionskraft gebenden Zuleitungen,
q_1 und q_2 die Querschnitte derselben,
σ_1 und σ_2 die Leitfähigkeiten.

Die Direktionskraft wird demnach

$$D = \delta_1 \frac{q_1^2}{l} + \delta_2 \frac{q_2^2}{l},$$

wo δ_1 und δ_2 vom Material und von der Form der Querschnitte abhängen. Der Einfachheit halber nehmen wir beide Zuleitungsbänder als gleich an oder denken uns wenigstens die Längen und Querschnitte an beiden Bändern stets in gleicher Weise geändert. Dann können wir setzen

$$D = 2\,\delta_1 \frac{q^2}{l}.$$

Es wurde nun kürzlich von Reinganum[2]) darauf hingewiesen, daß Drehspulgalvanometer sich in derselben Weise astasieren lassen wie Nadelgalvanometer. Man kann das rücktreibende Drehmoment der Aufhängung zum Teil kompensieren durch ein dem Ausschlag proportionales und gleichgerichtetes Drehmoment, das man z. B. durch eine am System befestigte Magnetnadel erhalten kann, die in einem schwächeren Teil des Feldes entgegen den Kraftlinien angebracht ist. Wie bei Nadelgalvanometern ist auch hier diese Kompensation nur bis zu einem gewissen Grade praktisch durchführbar, ohne zu große Nullpunktsstörungen und Instabilität herbeizuführen.

Nehmen wir an, daß eine ν-fache Astasierung[3]) noch zulässig ist, so erhält man als Direktionskraft

$$D = \frac{2\,\delta_1 q^2}{\nu\, l}. \tag{12}$$

[1]) p_0 setzt sich zusammen aus der durch den Rahmen oder eine Hilfswicklung absichtlich erzeugten Dämpfung und der Luftdämpfung. Man erhält analog wie 1)

$$p_0 = \frac{(HF_r)^2}{w_r} + \lambda_0,$$

wo λ_0 die Luftdämpfung, F_r und w_r Windungsfläche und Widerstand des Rahmens bezw. der Hilfswicklung bedeuten. Die beiden letzteren Größen kann man beliebig wählen und dadurch p_0 beeinflussen. Wenn keine bestimmte Hilfsdämpfung erforderlich ist, wird man die Rahmendämpfung fortlassen und die sich von selbst ergebende, meist verschwindend kleine Luftdämpfung in Kauf nehmen.

[2]) M. Reinganum, *Physikal. Zeitschr.* **10.** *S. 91. 1909*; vgl. auch E. Dibbern, *diese Zeitschr.* **31.** *S. 105. 1911.*

[3]) Es wäre sehr zu wünschen, daß die konstruierenden Firmen an ihren Modellen eine solche Astasierungseinrichtung von vornherein anbrächten, am besten etwa in der Weise, daß die Astasie-

Als Widerstand der Zuleitungen ergibt sich

$$W_1 = \frac{2\,l}{\sigma_1\,q}. \qquad 13)$$

Setzt man in der Gleichung für D in Schema II

$$W = W_a + W_0 + W_1$$

und dann die Ausdrücke der Gl. 12) und 13) ein, so erhält man

$$D\,W = \frac{2\,\delta_1\,q^2}{\nu\,l}\left(W_a + W_0 + \frac{2\,l}{\sigma_1\,q}\right) = \frac{T(1-\eta)}{\pi\,P^2}. \qquad 14)$$

Zur Erreichung einer großen Empfindlichkeit hat man also die Mittel,

1. die Astasierung ν groß,
2. die vom Material und der Querschnittsform abhängige Konstante δ_1 klein (und die Leitfähigkeit σ_1 groß),
3. q klein,
4. l groß zu machen.

Die beiden ersten Mittel sind die rationellsten, weil sie nicht mit einer Vergrößerung des Widerstandes W_1 verbunden sind. Kleine Werte δ_1 erhält man bei dünnen Bändern. Wie weit man in der Hinsicht kommen kann, ist kürzlich von Hrn. Zahn[1]) gezeigt, der, wie dies bei den Modellen der Firma Hartmann & Braun der Fall ist, die Zuleitungen ganz von der Aufhängung trennt. Bei der Wahl des Materials ist natürlich in erster Hinsicht darauf Rücksicht zu nehmen, daß dasselbe frei von elastischer Nachwirkung ist.

Verkleinert man den Querschnitt q in gleichem Maße wie die Länge l, so bleibt W_1 ebenfalls ungeändert, während die Direktionskraft noch abnimmt und eine höhere Empfindlichkeit erreichbar wird. Wenn man jedoch q stärker verkleinert als l, so wächst W_1, und man berechnet schließlich für den Spulenwiderstand

$$W_0 = W - W_a - W_1$$

einen so kleinen (oder gar negativen) Wert, daß er sich nicht mehr realisieren läßt. Wir werden festzustellen haben, wie weit man q und damit D verkleinern darf, wenn es darauf ankommt, eine hohe Empfindlichkeit zu erzielen.

Wir nehmen also an, unsere Vorschriften für P, T, W und η machten nach den Formeln II eine bestimmte Direktionskraft D erforderlich und zugleich bestimmte Werte für $(H\,F)$, k und p_0. Hat man danach die Aufhängung gewählt, so erhält man auch einen bestimmten Widerstand W_1, und die Aufgabe ist nur lösbar, wenn $W_0 = W - W_a - W_1 > 0$ ausfällt.

Dies vorausgesetzt, kann man durch geeignete Wahl der Drahtstärke und Spulenform den vorgeschriebenen Spulenwiderstand $(W - W_a - W_1)$ herstellen.

Bei dickem Draht für kleinen Widerstand wird jedoch die Windungsfläche F klein, sodaß schließlich keine praktische Feldstärke den vorgeschriebenen Wert $(H\,F)$ ermöglichen kann. Man muß also die Drahtstärke beiden Bedingungen anpassen.

Das Problem der Spulenform ist zuerst von Mather[1]) behandelt und ohne Berücksichtigung des Widerstandes dahin gelöst, daß eine Spule aus gegebenem Draht dann größte Windungsfläche für ein bestimmtes Trägheitsmoment besitzt, wenn ihr Querschnitt aus zwei aneinanderstoßenden gleichen Kreisen besteht, in deren einem

---

rungsnadel in einem besonderen (oder vom Hauptfeld abgezweigten) Magnetfeld sich befindet, das durch Polschuhe oder Eisen-Nebenschluß von außen her reguliert werden kann. Es ist durchaus anzunehmen, daß der Vorteil einer solchen Einrichtung ebenso groß ist wie bei Nadelgalvanometern, die ja erst infolge der Astasierung ihre große Empfindlichkeit erhalten.

[1]) H. Zahn, *diese Zeitschr.* **31.** *S. 145. 1911.*

die Windungen aufsteigen, während sie im anderen niedergehen, und wenn die Länge der Spule groß ist gegen den Radius des Querschnittskreises.

Wenn man berücksichtigt, daß durch geringere Drahtstärke die Windungsfläche sich beliebig vergrößern läßt, so kann man sagen: Die Mathersche Form muß man einer Spule geben, wenn man zur Herstellung einer bestimmten Windungsfläche mit möglichst dickem Draht auskommen will. Der Widerstand der Spule ist, wie sich später zeigen wird, von der Spulenform ziemlich unabhängig, sodaß die Mathersche Lösung ihre Bedeutung auch unter Berücksichtigung des Widerstandes behält, aber erst dann eine Rolle spielt, wenn man mit der Drahtstärke an die praktisch zulässige untere Grenze kommt.

Wir wollen nun zunächst die Konstruktionsberechnung für diese Spulenform durchführen.

Mather-Spulen.

Es sei

R der Radius eines Querschnittskreises,
a die Länge der Spule,
r der Radius des blanken Drahtes,
ε die relative Raumerfüllung der blanken Drähte,
σ die Leitfähigkeit des Drahtes,
s das spezifische Gewicht des blanken Drahtes, multipliziert mit dem Verhältnis der Gewichte des besponnenen und blanken Drahtes,
K_0 das Trägheitsmoment der Spule,
$K_1 = K - K_0$ das übrige Trägheitsmoment,
$\varkappa = \frac{K_0}{K}$ das Verhältnis des Trägheitsmomentes der Spule zum gesamten Trägheitsmoment.

Unter der relativen Raumerfüllung ε wird verstanden das Verhältnis des Querschnittes des blanken Drahtes zu der von ihm im Wicklungsquerschnitt beanspruchten Fläche. Dies Verhältnis läßt sich durch eine Probewicklung leicht messen. Man kann es bei dicht gewickelten Spulen auch setzen

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2\sqrt{3}}\left(\frac{r}{r_1}\right)^2 = 0{,}91\left(\frac{r}{r_1}\right)^2, \qquad 15)$$

wo r_1 den Radius des besponnenen Drahtes bedeutet.

Hiernach ergibt sich

die Windungszahl $$N = \frac{\varepsilon R^2}{r^2}, \qquad 16)$$

die Drahtlänge $$L = 2Na = \frac{2\varepsilon a R^2}{r^2}\text{ [2]},$$

das Gewicht der Spule $$G_0 = L \cdot r^2 \pi s = 2\pi \varepsilon s a R^2,$$

der Widerstand der Spule $$W_0 = \frac{L}{\sigma r^2 \pi} = \frac{2\varepsilon a R^2}{\pi \sigma r^4}, \qquad 17)$$

die Windungsfläche $$F = N \cdot 2Ra = \frac{2\varepsilon a R^3}{r^2}, \qquad 18)$$

das Trägheitsmoment der Spule $$K_0 = \frac{3}{2} G_0 R^2 = 3\pi\varepsilon s a R^4, \qquad 19)$$

[1]) T. Mather, *Phil. Mag.* **29.** *S. 434. 1890.*

[2]) Die Länge a der Spule ist als groß gegen R angenommen. Man nimmt für a das Mittel zwischen der Länge der inneren und der äußeren Windungen, d. i. die Länge der inneren Windungen vermehrt um $2R$.

und daher

$$K = \frac{3\pi \varepsilon s a R^4}{\varkappa}, \qquad 20)$$

wo

$$\varkappa = \frac{K_0}{K} = 1 - \frac{K_1}{K}. \qquad 21)$$

K_1 wird bei Spulen ohne Rahmen im allgemeinen klein sein gegen K, sodaß $\varkappa$ nahe gleich 1 ist. K_1, das dann im wesentlichen vom Spiegel und dessen Träger herrührt, kann berechnet oder auch bei der Herstellung gemessen werden.

Dazu gehört nach Gl. 4) die Direktionskraft

$$D = \frac{4\pi^2 K}{T^2} = \frac{12\pi^3 \varepsilon s a R^4}{T^2 \varkappa}.$$

Hieraus bestimmt man umgekehrt zu einer gegebenen Direktionskraft den Radius des Windungsquerschnitts

$$R = \sqrt{\frac{T}{2\pi}\sqrt{\frac{\Delta}{\varepsilon a}}}, \qquad 22)$$

wo zur Abkürzung

$$\Delta = \frac{D\varkappa}{3\pi s} \qquad 23)$$

gesetzt ist. Durch Einsetzen des Wertes von R findet man

$$N = \frac{T}{2\pi r^2}\sqrt{\frac{\Delta\varepsilon}{a}} \qquad 24)$$

$$G_0 = \frac{\varepsilon s T}{r^2}\sqrt{\Delta \varepsilon a} \qquad 25)$$

$$W_0 = \frac{T}{\pi^2 \sigma r^4}\sqrt{\Delta \varepsilon a} \qquad 26)$$

$$F = \frac{T}{\pi r^2}\sqrt{\frac{T\Delta}{2\pi}\sqrt{\Delta \varepsilon a}}. \qquad 27)$$

Wir können jetzt die sich vielleicht aufdrängende Frage erledigen, ob die Tragfähigkeit eine Grenze setzt bei der Verkleinerung des Querschnittes q der Aufhängung. Nach Gl. 25) ist das Gewicht der Spule der Wurzel aus der Direktionskraft proportional und damit nach Gl. 12) dem Querschnitt der Aufhängung. Die Gewichtsbelastung ist also unabhängig von der Größe des Querschnittes.

Auch unsere Hauptaufgabe, zu vorgeschriebenen Werten P, T, W, W_a und η ein Galvanometer zu berechnen, ist bei Anwendung von Mather-Spulen jetzt im Prinzip gelöst. Man berechnet D nach Schema II und wählt danach die Aufhängung, wobei sich ein bestimmter Widerstand W_1 ergibt, den man gemäß den zu 14) gemachten Ausführungen möglichst klein hält, sodaß $W_0 = W - W_a - W_1$ noch einen merklichen positiven Wert erhält. Läßt sich dies nicht erreichen, so sind die Forderungen unerfüllbar und müssen nachgelassen werden, sodaß man mit einer größeren Direktionskraft auskommt. Man muß also nach Schema II eine kleinere Empfindlichkeit oder eine größere Schwingungsdauer vorschreiben. Hat man so den Wert W_0 gefunden, so wird aus Gl. 26) der Drahtradius r bestimmt, wobei die Spulenlänge a beliebig gewählt werden kann. Dann ergibt sich aus Gl. 27) die Feldstärke F, die man in den nach Schema II gefundenen Wert (HF) dividiert, um die erforderliche Feldstärke H zu finden. Hiermit sind alle zur Konstruktion des Galvanometers erforderlichen Daten bestimmt.

Führt man den aus Gl. 26) folgenden Wert von r in Gl. 27) ein und setzt wieder Δ aus Gl. 23) ein, so ergibt sich

$$F = \frac{T}{\pi} \sqrt{\frac{D \varkappa \sigma W_0}{6 s}} . \qquad 28)$$

Drückt man den aus Schema II sich ergebenden Wert $(H F)$ anstatt durch P durch D aus, indem man P mittels der zweiten Gleichung eliminiert, so folgt[1])

$$H F = \sqrt{\frac{T D W (1 - \eta)}{\pi}} \qquad 29)$$

und daher nach 28)

$$H = \sqrt{\frac{6 \pi s W (1 - \eta)}{T \varkappa \sigma W_0}} . \qquad 30)$$

Die erforderliche Feldstärke ist proportional $\sqrt{\frac{W}{W_0}}$. Da W_0 niemals größer sein darf als W, so darf die Feldstärke niemals kleiner sein als

$$H_0 = \sqrt{\frac{6 \pi s (1 - \eta)}{T \varkappa \sigma}} . \qquad 31)$$

Diese untere Grenze der Feldstärke für Mather-Spulen hängt wesentlich nur von der Schwingungsdauer ab. Für Spulen aus Kupfer (spez. Gew. = 8,9) setzen wir in der Annahme, daß die Umspinnung sehr dünn ist, $s = 9$ und die Leitfähigkeit, auf [$\mathrm{Ohm}^{-1}\, cm^{-1}$] bezogen,

$$\sigma^* = 58 \cdot 10^4, \text{ also } \sigma = 10^{-9} \sigma^* = 58 \cdot 10^{-5}.$$

Mit diesen Zahlen wird die untere Grenze

$$H_0 = 540 \sqrt{\frac{1 - \eta}{T \varkappa}} \quad \text{und nahe} = \frac{540}{\sqrt{T}} .$$

Die obere Grenze der Feldstärke muß der Praxis entnommen werden. Man darf sie nicht zu hoch ansetzen, weil sonst störende magnetische Richtkräfte sich bemerkbar machen, die wegen der Hysterese Nullpunktsänderungen hervorrufen. Setzen wir die obere Grenze etwa mit $H_m = 1080$ *C.G.S.* an, so lassen sich für Schwingungsdauern unter $^1/_4$ Sek. Galvanometer mit rein elektrodynamisch aperiodisch gedämpften Mather-Spulen überhaupt nicht ausführen. Für eine (ganze) Schwingungsdauer von 10 Sek. wird $H_0 = 171$ *C.G.S.*, sodaß man die Feldstärke auf das 6,3-fache der unteren Grenze steigern darf. Setzen wir allgemein die Feldstärke gleich dem n-fachen der unteren Grenze

$$H = n H_0 = n \sqrt{\frac{6 \pi s (1 - \eta)}{T \varkappa \sigma}} , \qquad 32)$$

so kann n zwischen 1 und $\frac{H_m}{H_0}$, also für $H_m = 1080$, rund zwischen 1 und $2 \sqrt{T}$ variiert werden. Da diese Grenzen so übersichtlich sind, führen wir n zweckmäßig in unsere Gleichungen ein. Es folgt zunächst aus Gl. 30)

$$W = n^2 W_0 . \qquad 33)$$

Bei einer Feldstärke von 1080 *C.G.S.* für $T = 10$ Sek. beträgt also der Widerstand einer richtig gewickelten Mather-Spule nur den 40. Teil des aperiodischen Grenzwiderstandes, bei einer Feldstärke von 540 *C.G.S.* den 10. Teil.

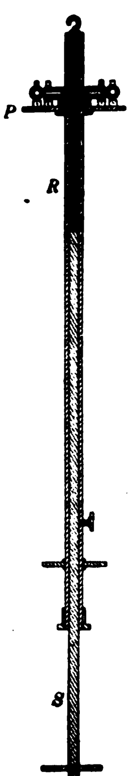
(Schluß folgt.)

[1]) auch direkt aus Gl. 8), 4) und 11).

Referate.

Festes Lot.

Von H. Löschner. *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **119**, *IIa. S. 1559. 1910.*



Das Lot dient zur Zentrierung des Theodolits über einem gegebenen Punkt, wenn der Senkel versagt, wie bei windigem Wetter. Es ist nach den Angaben des Verf. von R. & A. Rost in Wien hergestellt und unterscheidet sich von andern Konstruktionen dieser Art, z. B. der Meißnerschen, dadurch, daß es in derselben Art wie der Senkel am Haken der Schraubenstange des Theodolitstativs anzuhängen ist. Man kann es deshalb ohne Änderung von Theodolit oder Stativ im Wechsel mit einfachem Schnurlot oder Doppelsenkel gebrauchen, und es wird dabei nur zu prüfen sein, ob wegen der Form der beiden Haken u. s. f. die in der Achse des festen Lotes liegende untere Spitze bei Vertikalrichtung dieser Achse auch tatsächlich der Horizontalprojektion der Stehachse des Theodolits entspricht. Wie die Figur zeigt, besteht das Lot aus einem hohlen Stahlrohr *R*, in dem eine genau passende, etwa ebenso lange Stahlstange *S* mit spitzem Ende leicht bewegt werden kann. Das Rohr wird von einer oben oder unten anzuschiebenden Metallplatte *P* umfaßt, auf der zwei Paare von Kreuzlibellen (zu 1′ und zu 20″) sitzen, die durch Umdrehen von *P* um 180° zu prüfen sind. Einige Versuche über die Verwendung des festen Lotes werden mitgeteilt; bei windstillem Wetter ist die Genauigkeit der Zentrierung kaum größer als mit feinem Doppelsenkel: aus vier Dreiecken mit Seitenlängen zwischen 48 und 170 *m* ergab sich als m. F. eines Dreiecksschlusses bei Messung mit einem Mikroskoptheodolit und bei Anwendung des Doppelsenkels ± 8,1″, mit demselben Theodolit und bei Anwendung des festen Lotes ± 7,2″ (m. F. eines Winkels im einen und andern Fall ± 4,7″ und ± 4,2″), schon bei mäßigem Wind wäre aber die Zentrierung mit dem Schnurlot nicht mehr genügend möglich bei diesen kurzen Zielungen. *Hammer.*

Kalorimeter zur Messung der Wärmeerzeugung radioaktiver Stoffe.

Von W. Duane. *Amer. Journ. of Science* **31.** *S. 257. 1911.*

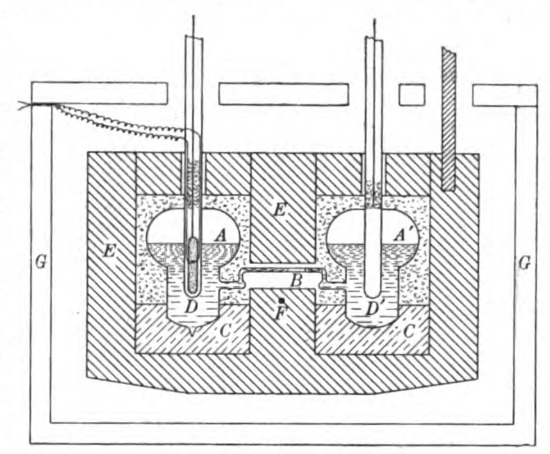
Die Wärmeabgabe des Radiums und seiner Zerfallsprodukte ist so bedeutend, daß man sie direkt mit dem Eiskalorimeter nachweisen kann. Bei den andern radioaktiven Stoffen sind die entwickelten Wärmemengen aber beträchtlich kleiner. Dem Verf. ist es gelungen, auch sie zu messen, nachdem er ein äußerst empfindliches Differentialkalorimeter konstruiert hat, das hier zunächst beschrieben werden mag.

Die Glasgefäße *A* und *A′*, deren Volumen je 50 *ccm* beträgt, sind etwa zur Hälfte mit flüssigem Äther gefüllt. Der Raum über der Flüssigkeit ist völlig luftfrei und enthält nur Ätherdampf. Beide Gefäße stehen durch das Kapillarrohr *B* von 0,5 *mm* lichter Weite in Verbindung. In diese Kapillare ist durch ein einfaches Verfahren eine Luftblase gebracht, deren Bild auf eine Skale projiziert wird. Eine relative Druckänderung innerhalb der Gefäße *A* und *A′* ruft eine Verschiebung der Blase hervor und ist also leicht zu beobachten.

Gegen äußere Wärmeschwankungen ist das Kalorimeter durch einen Bleimantel *E* geschützt, in dem die Gefäße *A* und *A′* durch Paraffin *C* befestigt sind. Alle Hohlräume sind mit Eiderdaunen ausgefüllt. Der Bleimantel steht in einem Messingkasten *G* und dieser wieder in einem (in der Figur nicht gezeichneten) Zinkkasten. Die metallischen Hüllen sind jedesmal durch Wärmeisolatoren voneinander getrennt. Das Kalorimeter kann um die Achse *F* zwecks Einstellung der Luftblase in *B* gedreht werden.

Das wesentlich Neue liegt bei diesem Differentialkalorimeter darin, daß die Wärme, welche etwa in dem Rohr *D* erzeugt und dem Gefäß *A* zugeführt wird, nicht die Spannkraft eines Gases, sondern den Sättigungsdruck von Ätherdampf erhöht. In der Nähe von

Zimmertemperatur steigt pro Grad Temperaturerhöhung der Druck eines Gases von etwa einer Atmosphäre um 3 *mm*, dagegen der Sättigungsdruck des Ätherdampfes um 17 *mm*. Dem Ref. scheint es, daß der Vorteil erhöhter Empfindlichkeit durch Zulassung größerer Trägheit erkauft wird. Wenn man die Wärmequelle in *D* einführt, so wird im vorliegenden Falle sehr viel mehr Wärme bis zur Erreichung des stationären Temperaturgefälles verbraucht als bei einem Gaskalorimeter. Es ist nicht nur die relativ sehr große Flüssigkeitsmasse zu erwärmen, sondern auch noch beträchtliche Energie zur Verdampfung aufzuwenden. Immerhin liefert der Apparat recht günstige Resultate, wenn man das Auftreten von Temperaturdifferenzen nach Möglichkeit vermeidet. Der Autor erreicht dies dadurch, daß er die Wirkung der in *D* erzeugten Wärme nicht durch eine gleichgroße in *D'* hervorgerufene Wärmemenge kompensiert, sondern sie in *D* sogleich wieder vernichtet, ehe sie sich noch dem Äther mitteilen kann. Dies geschieht durch Anwendung des Peltier-Effekts. Zu diesem Zweck wird in das Glasrohr *D* ein Metallrohr von 1 *mm* Dicke und 4 *cm* Länge geschoben, das zur Hälfte aus Eisen, zur Hälfte aus Nickel besteht. Durch dasselbe wird ein elektrischer Strom in *der* Richtung geschickt, daß an der Lötstelle Wärmeabsorption eintritt. Die Zuleitungen müssen natürlich so stark gewählt werden, daß der Joule-Effekt in äußerst kleinen Grenzen bleibt. In das Metallröhrchen wird das radioaktive Präparat gebracht und der Peltier-Effekt so reguliert, daß die Luftblase in *B* keine Beschleunigung erfährt. Die Anzahl Kalorien, die der Peltier-Effekt vernichtet, kann man dadurch ermitteln, daß man das Radium durch eine kleine Heizspule ersetzt, in der man eine gemessene Energie erzeugt. Es war auf diese Weise möglich, Wärmemengen zu messen, die zwischen 0,001 und 2 Grammkalorien pro Stunde betragen.



Die Gasblase in *B* ruhte niemals völlig. Eine Beschleunigung ihrer Bewegung wurde bereits merklich, wenn eine Wärmemenge von 0,00027 Kalorien in 10 Minuten entwickelt wurde.

Der Verf. fand mit dem beschriebenen Apparat, daß Polonium, dessen Aktivität nach etwa 142 Tagen auf die Hälfte sinkt, auch seine Wärmeproduktion in etwa dem gleichen Tempo verlangsamt. Eine Probe dieses radioaktiven Stoffes erzeugte

am	4. Mai 1909	0,012	Kalorien pro Stunde
„	4. Juni „	0,009	„ „ „
„	25. Juni „	0,008	„ „ „ .

Auch phosphoreszierende Körper wurden untersucht, und es ergab sich, daß dieselben geringe Wärmeentwicklung aufweisen, solange sie selbstleuchtend sind. *Hng.*

Die Strahlungswage.

Von H. L. Callendar. *The Electrician* **66.** *S. 902. 1911.*

Mit dem Namen Strahlungswage (*radio-balance*) bezeichnet der Verf. ein zur Messung von Strahlungsintensitäten bestimmtes Thermoelement, bei dem durch einen hervorgerufenen Peltier-Effekt der durch Strahlung zugeführten Wärmemenge das Gleichgewicht gehalten wird, sodaß keine Temperaturerhöhung der Lötstelle eintritt. Zwei Ausführungsformen des Apparates sind in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellt. Um unabhängig von der Temperatur der Umgebung zu sein, ist bei beiden ein Differentialthermoelement angewandt, von dem nur die eine Lötstelle bestrahlt wird. Bei der ersten Anordnung (Fig. 1) sind die Lötstellen kleine geschwärzte Kupferscheiben von 3 bis 4 *mm* Durchmesser und 0,3 bis 0,5 *mm* Dicke. Die

freien Schenkel des Differentialelementes aus Eisen-Konstantan-Draht führen zu dem Galvanometer *G*. Der von der Batterie *B* gelieferte und von dem Instrument *A* angezeigte Strom zur Erzeugung des Peltier-Effektes in der bestrahlten Lötstelle 1 wird durch je 4 Eisen- und Konstantan-Drähte von 0,2 *mm* Durchmesser zugeführt und durch den Widerstand *W* einreguliert. Bei der zweiten Ausführungsform (Fig. 2) sind statt der Kupferscheiben kleine Kupferbecher *K* von etwa 3,5 *mm* Durchmesser und 9 *mm* Höhe verwendet, um den Absorptionskoeffizienten des Strahlungsempfängers möglichst nahe gleich 1 zu machen. Um die Empfindlichkeit zu erhöhen, ist ferner das Differentialelement als Thermosäule ausgebildet, dessen einzelne Lötstellen *LL* um die Kupferbecher unter Einschaltung von Isolationsmaterial herumgelegt sind. *FC* ist das Thermoelement zur Erzeugung des Peltier-Effektes.

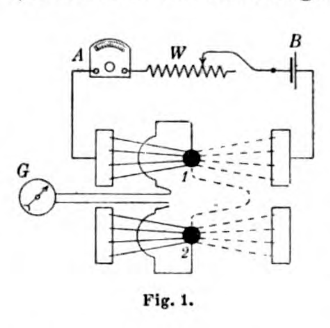


Fig. 1.

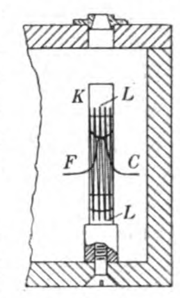


Fig. 2.

Bei der Berechnung des absoluten Wertes der Strahlungsintensität aus dem für den Peltier-Effekt erforderlichen Strom muß man berücksichtigen, daß durch denselben auch Joulesche Wärme erzeugt wird. Um dieselbe in Rechnung setzen zu können, bestimmt der Verf. den Strom J_0, bei dem Peltier- und Joule-Effekt sich gerade aufheben. Ist PJ_0 der Peltier-Effekt, so ist der für den Joule-Effekt wirksame Widerstand $P : J_0$, und diesen Wert legt der Verf. auch für die Berechnung des Joule-Effektes bei der Strahlungsmessung zugrunde. Ist J der Strom, der nötig ist, um der auffallenden Strahlung das Gleichgewicht zu halten, so setzt er die absorbierte Strahlung dementsprechend gleich $PJ\,(1 - J/J_0)$. Der Wert von P ist dabei bekanntlich gleich dem Produkt aus absoluter Temperatur der Lötstelle und Temperaturkoeffizient der Thermokraft. Mit den Apparaten können nach dem Verf. Strahlungsenergien bis herunter zu 0,1 Mikrowatt festgestellt werden, und auch die Genauigkeit der absoluten Messung soll sehr bedeutend sein. Vergleichende Messungen nach andern Methoden sind indessen nicht mitgeteilt. Die Verwendbarkeit der Methode besitzt eine Grenze dadurch, daß bei größeren Stromstärken der Joule-Effekt den Peltier-Effekt überwiegt. Man kann das Instrument dann aber in ähnlicher Weise wie das Ångströmsche Pyrheliometer[1] benutzen, indem man die nicht bestrahlte Lötstelle vom Strom durchfließen läßt, und zwar in einem solchen Sinne, daß Joule- und Peltier-Effekt sich addieren. Es ist dann in dem obigen Ausdruck für die Strahlung das Minus-Zeichen durch ein Plus-Zeichen zu ersetzen.

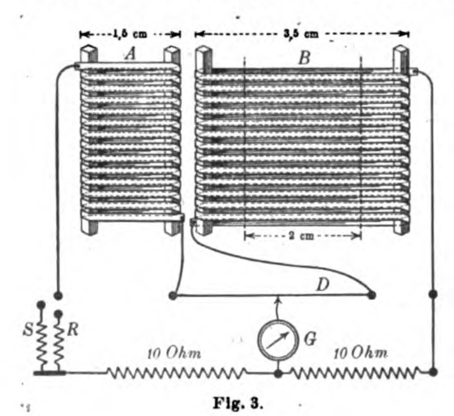


Fig. 3.

In der Arbeit beschreibt der Verf. noch mehrere andere von ihm konstruierte Apparate zur Messung absoluter Strahlungsintensitäten. Der eine, in Fig. 3 schematisch dargestellte Strahlungsmesser ist nach dem Prinzip des von Kurlbaum[2] verwandten Bolometers gebaut. Der Verf. hat dabei aber, ähnlich wie er es früher für Widerstandsthermometer angegeben hat, eine Anordnung getroffen, durch welche der Widerstand eliminiert wird, der nicht zu dem eigentlich wirksamen Teil — in diesem Fall die *bestrahlte* Bolometerfläche — gehört. In Fig. 3 ist das unbestrahlte Bolometer *A* um die Breite der bestrahlten Fläche des Bolometers *B* schmäler als dieses, im übrigen aber genau gleich dem bestrahlten. Im selben Brücken-

[1]) *Wied. Ann.* **67.** *S. 633. 1899*; vgl. auch das Referat in *dieser Zeitschr.* **20.** *S. 28. 1900.*
[2]) *Wied. Ann.* **65.** *S. 746. 1898.*

zweige mit A liegt noch ein Widerstand R aus dickem Draht, der so bemessen ist, daß $A+R$ gleich B ist, wenn unter A und B die Widerstände der beiden Bolometer verstanden werden. Während der Bestrahlung werden mit Hilfe des Brückendrahtes D die Widerstände abgeglichen, sodaß das Galvanometer G auf Null einsteht. Nach Fortfall der Bestrahlung wird der Strom von J_1 auf J_2 erhöht, bis in G wiederum der Ausschlag Null ist. Dann ist die durch den Strom dem vorher bestrahlten Teil des Bolometers B zugeführte Wärmemenge in Watt genau gleich $(J_2^2 - J_1^2)R$. Die Methode besitzt noch den Vorteil, daß die an den Verbindungsstellen auftretenden Thermokräfte wegen der völligen Symmetrie der Anordnung sich aufheben. Gegenüber der Strahlungswage besitzt das Bolometer den Nachteil, daß die Energiemessung erst nach der Bestrahlung stattfinden kann, weswegen der Apparat auch zur Aufrechterhaltung der Temperaturkonstanz in ein wassergefülltes Gehäuse eingeschlossen werden muß. Falls mit dem Bolometer andauernd *relative* Strahlungsmessungen ausgeführt werden sollen, kann der Widerstand R durch einen Widerstand S ersetzt werden, der aus genau demselben Platinband besteht wie die Bolometer A und B, sodaß eine Veränderung der Außentemperatur keinen Einfluß auf die Messungen haben kann.

Von zwei weiteren Anordnungen, die vom Verf. untersucht sind, beruht die eine darauf, daß unter Fortfall des Widerstandes R das Bolometer A aus zwei hinter einander geschalteten Einzelgittern und B aus zwei parallel geschalteten Einzelgittern besteht, wobei die Vergleichswiderstände sich wie 4:1 verhalten müssen. Dann kann die Wirkung der Bestrahlung durch einen höheren Strom kompensiert werden, da die Heizwirkung desselben bei A viermal so groß ist wie bei B. Diese Methode entbehrt jedoch die Vorteile der vorhergehenden. Bei der zweiten der erwähnten Anordnungen wird die Strahlungsintensität proportional der Differenz der Wirkungen auf ein geschwärztes und ein blankes Bolometer gesetzt. Damit die Intensität der Strahlung berechnet werden kann, muß dabei die Änderung des Absorptionskoeffizienten des blanken Bolometers mit der Wellenlänge der auffallenden Strahlung bekannt sein. Infolgedessen ist auch diese Methode von untergeordneter Bedeutung. *Mfsr.*

Bestimmung der Krümmung sphärischer Flächen mit Hilfe eines drehbaren Tisches.

Von G. F. C. Searle. *Phil. Mag.* **21.** *S. 218. 1911.*

Die Methode gründet sich auf die Eigenschaft sphärischer Spiegel, daß jeder Krümmungsradius als optische Achse angesehen werden kann. Bewegt man also den Spiegel um seinen Krümmungsmittelpunkt, dann darf ein von ihm entworfenes Bild seinen Ort nicht ändern. Dreht man andererseits den Spiegel um eine Achse, die ihn berührt, so kann der Berührungspunkt (durch Lykopodium sichtbar gemacht) ebenfalls beim Drehen keine Verschiebung erleiden. Diese beiden Stellungen des Spiegels zur Drehungsachse werden ermittelt. Ihr Abstand voneinander gibt direkt den Krümmungsradius an. Die Einrichtung des Apparates ist folgende: Ein um eine gut gelagerte, vertikale Achse drehbarer Tisch trägt eine Schiene, die an einer Skale gleiten kann. Auf der Schiene ist ein kleiner Spindelstock mit horizontaler Achse befestigt, an die eine durch drei Schrauben justierbare Platte geschraubt werden kann. Mit Wachs werden auf diese die zu untersuchenden Spiegel oder Linsen gekittet und mittels der Justierschrauben so geneigt, daß der Krümmungsmittelpunkt auf der verlängerten Spindelachse liegt. Letztere ist der Skale parallel gerichtet und schneidet beim Verschieben der Schiene die vertikale Achse des Tisches. Ist der Apparat soweit justiert, dann können die beiden Fundamentalstellungen des Spiegels durch abwechselndes Verschieben der Schiene längs der Skale und Drehen des Tisches um seine Achse gefunden werden.

Über die Genauigkeit der Methode wird nichts Näheres mitgeteilt; sie dürfte hinter der mit einem Sphärometer erreichbaren sehr zurückstehen. Für die Praxis ist das Instrument etwas unhandlich. Der Verf. benutzte es als lehrreiches Unterrichtsmittel im Laboratorium.

Shr.

Die Leistungsgrenze der Spiegelablesung.

Von W. Volkmann. *Physikal. Zeitschr.* **12.** *S. 30. 1911.*

Der Verf. hat versucht, die Leistungsgrenze bei Spiegelablesung photographisch festzustellen. Diese Grenze wird praktisch gewöhnlich durch die optische Leistungsfähigkeit des Spiegels bestimmt, indem dieser meist eine gewisse Größe nicht überschreiten darf. Man hat dann denselben Fall, als ob man mit einem astronomischen Fernrohr durch eine Blende, die der Spiegelgröße entspricht, nach einer Skale sieht.

Die Versuchsanordnung war folgende. Die Blende war 5 *m* von der mit Sonnenlicht beleuchteten Millimeterskale entfernt; dahinter stand ein Fernrohr von 35 *cm* Objektivbrennweite und etwa 2 *cm* Okularbrennweite. Dann folgte der photographische Apparat, der eine Linse von 38 *cm* Brennweite hatte. Im Okular des Fernrohres befand sich ein Quarzfaden von 4 μ Dicke. Es wurden bei einer Belichtungsdauer von 15 Sekunden bis 30 Minuten durch 8 Blenden von 16 bis zu 1,6 *mm* Durchmesser herab Aufnahmen gemacht, von denen Verf. Reproduktionen gibt.

Schon bei der größten Blende zeigten sich infolge der Beugung die Striche etwas verbreitert und Beugungssäume an dem Quarzfaden. Die Verbreiterung der Striche nimmt mit kleiner werdender Blende zu, und bei einer Blendengröße zwischen 2,8 und 2 *mm* hört die Erkennbarkeit der Striche auf. Die Grenze der Zehntelschätzung liegt etwa bei einer Blendengröße von 5 *mm*, es empfehle sich aber, bei einem Skalenabstand von 5 *m* nicht unter 10 *mm* Spiegeldurchmesser herunterzugehen, weil sonst die Beugung am Faden zu stark wird. Der Verf. leitet daraus die Regel ab, für jeden Millimeter Spiegelhalbmesser nicht mehr als einen Meter mit der Skale abzurücken. Die Fernrohrvergrößerung muß natürlich so groß gewählt werden, daß die Erkennbarkeit nicht durch das Auflösungsvermögen des Auges beschränkt wird. Dementsprechend empfiehlt der Verf., 3 bis 6 Vergrößerungseinheiten für jeden Millimeter Spiegelhalbmesser anzuwenden. Volkmann stellt fest, daß seine Ergebnisse im Einklang sind mit denen, die sich aus der Theorie der Beugung ergeben.

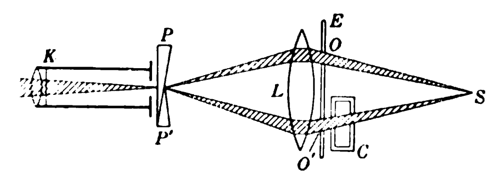
E. Br.

Spektrophotometer für Absorptionsmessungen.

Von Ch. Féry. *Journ. de phys.* **9.** *S. 819. 1911.*

Nach einer kurzen Besprechung der an Spektrophotometern üblichen Meßmethoden (Polarisationsprismen, Veränderung der Spaltbreite nach Vierordt, Meßdiaphragmen an den Objektiven) empfiehlt der Verf. den Rauchglaskeil als für spektrale Absorptionsmessungen besonders geeignet. Er führe zu einfachen und wenig kostspieligen Anordnungen und gestatte eine einfache Berechnung der Resultate.

Die vorgeschlagene Anordnung ergibt sich aus der Figur. Vor dem Spalt des Kollimators K eines Spektralapparates liegen über einander die Rauchglaskeile P und P', deren Schneiden entgegengesetzt gerichtet sind, und die fest miteinander verbunden in der Keilrichtung meßbar verschoben werden können. Die Beleuchtungslinse L entwirft von der Lichtquelle S ein Bild auf dem Spalt. Nahe der Linse L, zwischen dieser und der Lichtquelle S,



befindet sich ein Diaphragma E mit den beiden Ausschnitten O und O', die so angebracht sind, daß das O passierende Strahlenbündel den Keil P, das O' durchsetzende den Keil P' in Richtung der Kollimatorachse verläßt. Die Substanz, deren Absorption bestimmt werden soll (der Trog C mit der absorbierenden Flüssigkeit), kann bei O' in den Strahlengang gebracht werden. Der bei O austretende Anteil des Strahlenbündels, der auf den Keil P' fällt, ebenso der aus O' austretende, der auf P fällt, wird in K durch Diaphragmen unschädlich gemacht.

Ist die Anordnung so gewählt, daß nach Ausschaltung der absorbierenden Substanz Gleichheit im Photometerfelde (Okulardiaphragma) für den Fall entsteht, daß die vor dem

Spalte liegenden Teile der Keile gleich dick sind, und ist nach Einschaltung der absorbierenden Substanz von der Schichtdicke y und dem Absorptionskoeffizienten Q im Moment der Einstellung die wirksame Dicke x' bei dem Keil P und x'' bei dem Keil P', so ist

$$e^{-kx'} = e^{-Qy} e^{-kx''},$$

also

$$Q = k \frac{x' - x''}{y},$$

wenn k der besonders zu bestimmende Absorptionskoeffizient der Rauchglaskeile ist.

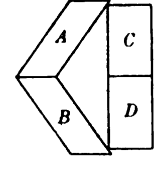
Nach seiner Darstellung scheint der Verf. zu glauben, daß der Rauchglaskeil für spektralphotometrische Zwecke noch nicht benutzt worden ist. Dies ist aber nicht zutreffend (vgl. das Rauchglaskeil-Spektrokolorimeter von Krüß[1])). Wenn der in der Photometrie vielfach vorgeschlagene Rauchglaskeil, der wohl nur in der Stern-Photometrie häufiger angewandt wird, keine weitere Verbreitung gefunden hat, so liegt das daran, daß man zuverlässiges Material für solche Keile, bei dem der Absorptionskoeffizient für verschiedene Stellen des Glases und verschiedene Wellenlängen hinreichend der gleiche ist, nicht besitzt, daß also Rauchglaskeilphotometer bisher sich nur für rohere Messungen eigneten. *E. Br.*

Neue Halbschatten-Vorrichtung für weißes Licht.

Von A. E. Oxley. *Chem. News* **102.** *S. 190. 1910.*

Bei dem Laurentschen Halbschattenapparat, der bekanntlich kein exaktes Meßinstrument ist, besteht die Halbschatten-Vorrichtung aus einer das Polarisator-Diaphragma zur Hälfte bedeckenden Quarzplatte, welche parallel zu ihrer optischen Achse geschliffen ist und eine solche Dicke besitzt, daß die parallel und senkrecht zur Achse der Platte polarisierten Strahlen bei ihrem Durchtritt einen Gangunterschied erleiden, der gleich einem ungeraden Vielfachen der halben Wellenlänge desjenigen homogenen Lichtes ist, mit dem man den Apparat beleuchten will. Diese Quarzplatte von $^1/_2$ Wellenlänge ersetzt nun der Verf. durch zwei hinter einander gestellte Fresnelsche Glas-Parallelepipede, welche ja den beiden rechtwinklig zueinander schwingenden Komponenten bei der viermaligen totalen inneren Reflexion auch einen Gangunterschied von $^1/_2$ Wellenlänge erteilen. Da im letzteren Falle die Abhängigkeit der Phasendifferenz von der Wellenlänge nur gering ist, so kann man den Polarisationsapparat mit beliebigem homogenen oder auch weißem Lichte beleuchten.

Wie aus der nebenstehenden, vom Ref. richtig konstruierten Figur (des Verf. Figur ist unrichtig und gibt zu Mißverständnissen Anlaß) ersichtlich ist, geht die eine Hälfte des aus dem Polarisator kommenden Lichtes durch die beiden Parallelepipede A und B, die andere Hälfte durch die beiden Glasplatten C und D. Diese letzteren sind angebracht, damit auch auf dieser Seite ein Lichtverlust durch vier Reflexionen bei senkrechter Inzidenz eintrete; auch die Lichtverluste durch Absorption sind so auf beiden Hälften im Betrage einander nähergebracht. Bedeutend vorteilhafter ist es natürlich, was indessen der Verf. nicht erwähnt, die beiden Parallelepipede A und B mit Kanadabalsam aneinanderzukitten und die Platten C und D aus einem Stück herzustellen.



Um eine möglichst scharfe Trennungslinie im Gesichtsfelde zu erhalten, müssen die Parallelepipede A und B die Glasplatten C und D etwas überragen. Ist der Brechungsexponent der benutzten Glassorte gleich 1,5173, so hat der Winkel der Parallelepipede 55° 15,5′ zu betragen. Bei einer Öffnung der Halbschatten-Vorrichtung von 16 *mm* beträgt dann ihre Länge etwa 31 *mm*.

Der Ref. möchte bemerken, daß die mittels dieser Halbschatten-Vorrichtung gemessenen Drehungswinkel mit ähnlichen systematischen Fehlern, wenn auch wohl in geringerem Maße, behaftet sein können, wie die mit einer Laurent-Platte ermittelten Drehungen. Für exakte

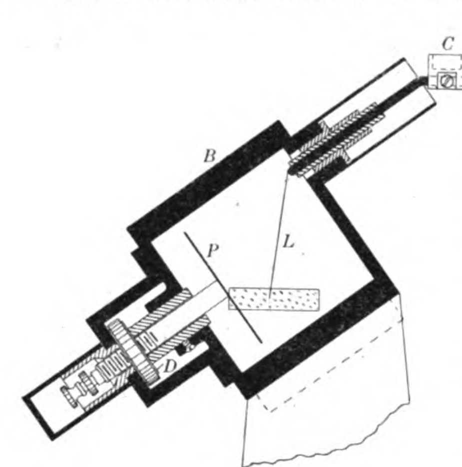
[1]) Krüß, Kolorimetrie und quantitative Spektralanalyse. 1. Aufl., 1891. *S. 123*; 2. Aufl., 1909. *S. 178*. Hamburg u. Leipzig, L. Voß.

Messungen ist jedenfalls eine nur aus Kalkspat bestehende Halbschatten-Vorrichtung, wie z. B. das Lippichsche Halbprisma, zu gebrauchen. Letzteres wird auch unter sonst gleichen Umständen kleinere Einstellungsfehler ergeben als die Parallelepipede, weil so dicke Glasstücke schwerlich spannungsfrei sein werden. *Schck.*

Bemerkungen über das Wilsonsche Goldblattelektrometer.

Von G. W. C. Kaye. *The Electrician* **66.** *S. 940. 1911.*

Der Verf. hat das bekannte Elektrometer von Wilson (vgl. *diese Zeitschr.* **23.** *S. 314. 1903*) in konstruktiver Hinsicht verbessert. Mittels der Mikrometerschraube D kann die Platte P parallel mit sich selbst verschoben werden; P wird durch eine Akkumulatorenbatterie auf ein Potential von etwa 200 Volt gebracht. Die Zuführung zum Goldblättchen L erfolgt durch den Napf C, der mit einer konzentrierten Lösung von Chlorkalzium gefüllt ist; diese Lösung ist statt Quecksilbers genommen, da letzteres gelegentlich beim Abtropfen zu Ladungen Veranlassung gibt. Die richtige Neigung zwischen P und L, die etwa 30° beträgt, wird durch eine Fußschraube des Apparates bewerkstelligt. Der ganze Apparat ist mit einer geerdeten Hülle B umgeben. In dem mittleren Teil der Eichkurve, wo der Apparat seine größte Empfindlichkeit erhält, beträgt der Ausschlag pro Volt 300 Skalenteile des Okularmikrometers.



Die Abhandlung enthält noch Anweisungen über das Schneiden von Goldblättern und über die Isolationsmaterialien, die sich am besten für Elektrometer eignen. Das Blatt L ist durch geschmolzenen Quarz von der Hülle isoliert. *E. O.*

Bücherbesprechungen.

Verhandlungen der vom 21. bis 29. Sept. 1909 in London und Cambridge abgehaltenen 16. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung. Redigiert vom ständigen Sekretär H. G. van de Sande Bakhuyzen. 4°. Berlin, G. Reimer.

I. Teil. Sitzungsberichte und Landesberichte über die Arbeiten in den einzelnen Staaten. 401 S. m. Taf. u. Karten. 1910.

Aus den Berichten über die Sitzungen ist im Sinn dieser Zeitschrift zunächst zu erwähnen der zusammenfassende Überblick von Helmert über die Tätigkeit des Zentralbureaus der Erdmessung in den Jahren 1906 bis August 1909. Es werden kurz besprochen: die Ergebnisse des internationalen Breitendienstes auf den sechs Stationen des Nordparallels und den zwei Stationen des Südparallels; die Fortsetzung der Schweremessungen auf dem Meer nach der Methode von Mohn (durch Hecker auf dem Schwarzen Meer); ferner die Figur der Erde. Die Abmessungen des Rotationsellipsoids sind jetzt sehr sichergestellt: die Diskussion der Messungen in den Vereinigten Staaten durch Tittmann und Hayford führt auf ein Ellipsoid, dessen Abplattung (1 : 297) nur um 1 Einheit des Nenners und deren große Halbachse (6378,388 *km*) sich um nur etwa $^1/_{10}$ *km* unterscheidet von den Ergebnissen aus Schweremessungen und Gradmessungen in Europa; dabei zeigen die Schweremessungen mit Sicherheit, daß von diesem Ellipsoid das Geoid nicht um mehr als $\pm$ 100 *m* in der Höhe sich entfernt an den Stellen seiner größten Abweichungen. Ferner wird besprochen die Bedeutung der Drehwage von Baron Eötvös zur Erforschung kleiner Änderungen von g, die

mit den Pendelbeobachtungen nicht mehr erfaßt werden können; nach diesem Vorgang von Eötvös ist von Hecker ein Instrument mit photographischer Registrierung angegeben und in der mechanischen Werkstatt des Geodätischen Instituts in Potsdam hergestellt worden (vgl. *diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 6. 1910*). Aus der 2. Sitzung ist hier besonders zu erwähnen die eingehende Diskussion über Wert oder Unwert der Invardrähte für die Grundlinienmessung und über die Frage: (schmale) Bänder contra Drähte. Namentlich Oberst Bourgeois ist den Invardrähten, nach Erfahrungen in Ecuador, nicht günstig gestimmt und betont u. a., daß die Invardrähte viel häufiger zu etalonieren seien als starre Maße (was übrigens von Drähten aus allen Metallen gilt); viele andere Delegierte sind aber für die Invardrähte eingetreten und die amerikanischen Delegierten für die leichten schmalen Bänder statt der Drähte auf Grund der in den Vereinigten Staaten gewonnenen Erfahrungen. Die Überlegenheit der Bänder über die Drähte in Beziehung auf Konstanz der Länge soll nach Hayford besonders zwei Ursachen haben: das Band wird beim Aufrollen stets in derselben Richtung gebogen, der Draht dagegen das eine Mal in der einen, das andere Mal in einer anderen Richtung, und deshalb ändern sich jedesmal die Spannungen in den verschiedenen Teilen des aufgewickelten Drahts; sodann treten beim Aufrollen der Bänder keine Torsionen ein, die bei den Drähten sehr zu fürchten sind. Der vollständige Bericht von Bourgeois, der im 2. Band der „Verhandlungen" erscheinen soll, wird noch manche interessante Beobachtungen über die Invardrähte bringen. Auch in den Landesberichten (s. u.) dieses 1. Bandes ist viel von den Invardrähten die Rede (in den verschiedenen Teilen des Britischen Reichs Südafrika, Uganda, Indien; dann aus Afrika ferner in Ägypten, Algerien, aus Asien ferner in Russisch-Asien und in Japan, in Amerika außer den Vereinigten Staaten in Mexiko und in Südamerika [französische Geodäten in Ecuador; Chile] u. s. f.); man sieht schon aus dieser Aufzählung, welches Interesse sich der Invardraht- und Bandmessung zuwendet. In der 6. Sitzung wurden ziemlich ausführlich die von Hecker an der Drehwage von Eötvös angebrachten Änderungen besprochen.

Landesberichte über den Fortschritt der Erdmessungsarbeiten in diesen Ländern sind beigegeben von Belgien, Chile, Dänemark, Bayern (1908 die Pendelmessungen vorläufig abgebrochen, weil die Pendel Änderungen zeigten), Preußen (Diskussion der zwei Grundlinienmessungen bei Schubin und bei Gumbinnen mit dem Besselschen Apparat), Baden, Frankreich (u. a. Mitteilungen über die Art der bevorstehenden Publikation der französischen Gradbogenmessung in Südamerika), Großbritannien und Ägypten (Indien, Canada, Australien; der Meridianbogen auf 30° E. Gr. durch ganz Afrika, Uganda), Italien, Japan, Mexiko (hier ist die längste bisher überhaupt direkt gemessene Strecke, eine Dreiecksseite von 39163,737 *m* Länge, auf das Meer reduziert, die Basis von La Cruz im Staate Tamaulipas mit den beiden Invardrähten Nr. 25 und 26 von je 24 *m* Länge gemessen worden), Niederlande, Norwegen, Österreich, Rußland (hier sind die Mitteilungen über die Basismessung von $7\frac{1}{2}$ *km* bei Kasalinsk in Turkestan und die Etalonierung der verwendeten 24 *m*-Invardrähte von großem Interesse und durch eingehende Zeichnungen über die Komparatorvorrichtung erläutert; ferner finden sich Mitteilungen über die russische Meridianbogenmessung auf Spitzbergen), Schweden (ebenso Bericht über die schwedischen Arbeiten auf Spitzbergen), Schweiz, Spanien, Ungarn (hier werden von Baron Eötvös sehr eingehend beschrieben seine Messungen der g-Veränderungen auf kleinen Gebieten mit der Drehwage; mit Anhang von Oltay), den Vereinigten Staaten (u. a. Diskussion des topographischen Einflusses und der isostatischen Kompensation auf die Intensität der Schwerkraft), Griechenland. *Hammer.*

G. F. C. Searle, *Experimental Elasticity, a manuel for the laboratory.* 8°. XVI, 187 S. m. 62 Fig. Cambridge, University Press 1908.

Das vorliegende Buch ist aus handschriftlichen Anweisungen entstanden, die der Verf. zum Gebrauche für die Studierenden bei den Übungen in angewandter Physik im Cavendish-Laboratorium der Universität Cambridge von Zeit zu Zeit verfaßt hat. Es ist als Teil einer Sammlung von Monographien gedacht, die nach und nach das ganze Gebiet der praktischen

Physik umfassen sollen. An brauchbaren Büchern, die der praktischen Physik gewidmet sind, ist ja kein Mangel, aber sie geben meist zwar erschöpfende Auskunft über die experimentell-praktische Seite einer Versuchsanordnung und über die verschiedenen praktisch brauchbaren und bewährten Methoden zur Bestimmung irgendwelcher physikalischer Konstanten, pflegen jedoch naturgemäß die theoretischen Grundlagen nur zu streifen und die mathematische Ableitung der Formeln nur in Ausnahmefällen anzudeuten. Der Verf. des vorliegenden Buches ist der Meinung — und darin wird man ihm wohl zustimmen — in einem Leitfaden der praktischen Physik, der für Studierende bestimmt ist, dürfen auch die prinzipiellen Grundlagen nicht verkümmert werden, und daher gibt er zu jedem Experiment auch die zugehörigen theoretischen Betrachtungen an.

Das Buch zerfällt in drei Kapitel. Das erste enthält einen kurzgefaßten Abriß der Elemente der Festigkeitslehre, vom Hookeschen Gesetz beginnend bis etwa zur Poissonschen Theorie, nebst einigen thermodynamischen Betrachtungen. Im zweiten Kapitel werden die mathematischen Lösungen einiger spezieller Aufgaben diskutiert, die experimentell von Wichtigkeit sind, besonders Biegung und Torsion eines Stabes und einer dünnen Platte. Schwierigere Probleme, die ja hier gerade oft von besonderem Interesse sind, werden jedoch nicht berührt. Das dritte, umfangreichste Kapitel ist der ausführlichen Beschreibung von einigen Experimenten gewidmet, nebst den dazu gehörigen mathematischen Erörterungen, soweit sie nicht bereits vorher gegeben waren. Jedes Experiment ist durch ein vollständig durchgeführtes Zahlenbeispiel erläutert. Ein hohes Maß von Meßgenauigkeit wird absichtlich nicht angestrebt, sondern es wird stets die prinzipielle Seite bevorzugt. Den Schluß des Buches bilden einige Anmerkungen über spezielle mathematische und mechanische Fragen. Wenn auch größere Anforderungen nach der theoretischen sowohl wie nach der experimentellen Seite an das Buch nicht gestellt werden können, so wird man es doch wegen der klaren und leichtverständlichen Darstellung für das Anfängerstudium, besonders für Übungslaboratorien, warm empfehlen können. Leider ist die Literatur, besonders die deutsche, sehr wenig berücksichtigt, nur einige englische Arbeiten werden zitiert. Die Figuren sind sorgfältig gezeichnet, nur in Fig. 30 bei F ist ein perspektivischer Fehler. *Rt.*

Neu erschienene Bücher.

H. Weber u. J. Wellstein, Enzyklopädie der Elementar-Mathematik. Ein Handbuch f. Lehrer u. Studierende. In 3 Bdn. III. Bd. Angewandte Elementar-Mathematik. 1. Tl.: Mathematische Physik. Mit e. Kapitel üb. Maxima u. Minima v. H. Weber u. J. Wellstein. Bearb. v. Prof. Rud. H. Weber. 2. Aufl. gr. 8°. XII, 536 S. m. 254 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1910. Geb. in Leinw. 12 M.

G. Scheffers, Lehrbuch der Mathematik f. Studierende der Naturwissenschaften u. der Technik. Einführung in die Differential- u. Integralrechng. u. in die analyt. Geometrie. 2. Aufl. gr. 8°. VIII, 732 S. m. 413 Fig. Leipzig, Veit & Co. 1911. 18 M.; geb. in Leinw. 19,50 M.

Sammlung Schubert. Eine Sammlung mathematischer Lehrbücher, hrsg. v. H. Schubert. 8°. Leipzig, G. J. Göschen.

44. V. u. K. Kommerell, Allgemeine Theorie der Raumkurven u. Flächen. 2. Aufl. Bd. II. 190 S. m. Fig. 1911. Geb. in Leinw. 5,80 M.

Aus Natur und Geisteswelt. Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständl. Darstellgn. 8°. Leipzig, B. G. Teubner. Jedes Bdchn. 1 M.; geb. in Leinw. 1,25 M.

324. F. A. Schulze, Die großen Physiker u. ihre Leistungen. IV, 108 S. m. 5 Bildnissen. 1910. — 341. R. Neuendorff, Praktische Mathematik. 1. Tl.: Graphisches u. numer. Rechnen. VI, 105 S. m. 69 Fig. u. 1 Taf. 1911.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. 9. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

XXXI. Jahrgang. **September 1911.** Neuntes Heft.

Das Biotar, ein Projektionssystem mit besonders großer Öffnung und ebenem Felde.

Von
M. von Rohr in Jena.
(Mitteilung aus der optischen Werkstätte von Carl Zeiss.)

Auf den ersten Blick erscheint es überflüssig, für die Zwecke der Projektion Systeme von einem ungewöhnlich großen Öffnungsverhältnis zu berechnen, da ja in dem Petzvalschen Porträtobjektiv ein Typus zur Verfügung steht, der alle Ansprüche an die Korrektion eines Projektionssystems zu erfüllen scheint, und da ferner die große Intensität des Bogenlichts anscheinend keinen Wunsch unerfüllt läßt, der sich auf die Erzielung einer großen Bildhelligkeit richtet.

Indessen gibt es doch Fälle, wo die Lichtmenge des Bogenlichts nicht zur Verfügung steht, sondern wo man mit viel weniger intensiven Lichtquellen auszukommen gezwungen ist, und in der Tat lag eine solche Aufgabe beim Beginn der Berechnung vor. Es handelte sich damals darum, kinematographische Projektionen auch in solchen Privathäusern zu ermöglichen, die nur mit Gasglühlicht ausgerüstet waren. Ferner sind auch Fälle denkbar, und zwar namentlich bei der Projektion mikroskopischer Präparate, wo es mit der Intensität der Beleuchtung allein nicht getan ist; dort fordert vielmehr die Feinheit der wiederzugebenden Struktur die Steigerung der numerischen Apertur.

Wenn es nun möglich war, bei einer Konstruktion, wo die schiefen Büschel in der bei photographischen Objektiven üblichen Art berücksichtigt worden waren, einen *Aperturwert von 0,3* zu erreichen, so sieht man ein, daß es sich hier um Aperturen handelt, die früher nur bei schwachen Mikroskopobjektiven, d. h. bei solchen Konstruktionen erreicht wurden, wo die seitliche Ausdehnung des brauchbaren Feldes bloß kleine Beträge annahm.

Setzt man nun ein System voraus, bei dem die sphärische Korrektion recht vollkommen, d. h. mit geringen Zonen, herbeigeführt, die Sinusbedingung möglichst für die ganze Öffnung erfüllt und der Astigmatismus schiefer Büschel strenge für einen endlichen Neigungswinkel der Hauptstrahlen gehoben worden ist, so wird im allgemeinen noch eine gewisse Bildkrümmung übrig bleiben, deren Betrag nach dem Coddington-Petzvalschen Gesetz zu bestimmen ist. Bei allen hier in Betracht kommenden Objektiven handelt es sich bei der Fläche der punktuellen Abbildung um eine Umdrehungsfläche, die ihre hohle Seite dem Objektiv zukehrt. Je höher nun der Öffnungswinkel ist, den das Objektiv darbietet, desto empfindlicher macht sich bei einem ebenen Objekt und dem in der Praxis stets als eben anzunehmenden Auffangsschirm jede Abweichung von der Planheit des Bildfeldes geltend. Es stellt

sich nämlich eine nach dem Rande immer wachsende Unschärfe ein, da bei der Einstellung auf die Bildmitte die Randteile des Auffangsschirms weiter von dem Objektiv entfernt sind als die entsprechenden Bildelemente, sodaß sich dort Zerstreuungsfiguren ergeben müssen.

Diese Unschärfe kann sich in einem besonderen Falle sehr eigentümlich bemerkbar machen. Verwendet man nämlich eine Konstruktion mit der gewöhnlichen Form des Bildfeldes als Spektrographenobjektiv, so durchsetzen die verschiedenen von dem Prisma kommenden Strahlenbüschel von endlichem Öffnungsdurchmesser das Objektiv unter ganz verschiedenen Neigungen. Die Folge davon ist die, daß die äußeren Enden des Spektralbereichs sich gegen den Rand des Feldes hin anordnen, d. h. auf Stellen des Bildfeldes fallen, die dem Objektiv viel mehr genähert sind als die Seitenteile der ebenen Platte, deren Achsenort durch die scharfe Wiedergabe der Linien mittlerer Brechbarkeit bestimmt wurde. Mithin wird eine chromatische Abweichung vorgetäuscht, während der eigentliche Grund der ungleichmäßigen Verteilung der Schärfe in der Bildfeldkrümmung des Objektivs liegt. Anderseits wird die Brauchbarkeit eines bestimmten Konstruktionstypus für spektrographische Zwecke durch die Ebenung des Feldes der punktuellen Abbildung entsprechend erhöht werden[1]).

Man erkennt also die große Bedeutung der Bildebenung für die verschiedenen Zwecke der Projektion, und es ergab sich die Frage, welche Mittel dafür verfügbar wären. Die moderne photographische Optik hat zweifellos in dieser Richtung Leistungen aufzuweisen, an die man in der ersten Periode der für schiefe Büschel astigmatisch korrigierten Objektive (der anastigmatischen Objektive im Sprachgebrauch der Technik) nicht zu denken wagte. Indessen wird man sich doch sagen können, daß verständlicherweise die relative Öffnung des in dieser Hinsicht besonders bevorzugten Petzvalschen Porträtobjektivs durch Konstruktionen nicht übertroffen werden konnte, die bei gleicher Linsenzahl eine so wesentliche und so notwendige Korrektion mehr besaßen, wie es die Ebenung des Feldes der punktuellen Abbildung ist.

Die Methode, mit der diese großen Leistungen erreicht wurden, ist, um mit E. Abbe[2]) zu sprechen, eine solche der *Simultan*-Korrektion. Die Flächen des Objektivs sind so gegen einander abgestimmt, daß durch ihr Zusammenwirken die verschiedenen Fehler gleichzeitig gehoben werden: man könnte keinen Bestandteil des Systems entfernen, ohne beispielsweise gleichzeitig die sphärische Korrektion im engeren Sinne und den Zustand der schiefen Büschel wesentlich zu stören. Da die moderne Theorie des photographischen Objektivs — und zwar für Instrumente von allgemeiner Verwendbarkeit in ganz berechtigter Weise — die Forderung der Simultankorrektion stillschweigend erhoben hat, so scheint die Möglichkeit der *gesonderten* Korrektion den modernen Konstrukteuren des photographischen Objektivs nicht in den Sinn gekommen zu sein. Man vermag das wenigstens aus dem Meinungsaustausch zu schließen, den gelegentlich namhafte Vertreter der technischen Optik führten, als die Frage nach

---

[1]) Die Anwendung des Biotars für diesen Zweck ermöglichte auch den kurzen Bericht von F. Löwe in Jena „Spektrographische Mitteilungen", *Physikal. Zeitschr.* **10.** *S. 784. 1909.* Hier interessiert die Angabe daraus, daß das Biotar die Linien in dem Spektralbezirk von 400 $\mu\mu$ bis 700 $\mu\mu$ scharf wiedergab.

[2]) *On new methods for improving spherical correction, applied to the construction of wide-angled object-glasses. Journ. Roy. Microscop. Soc.* **2.** *S. 812—824. 1879.* S. auch die Übersetzung unter dem Titel: „Über neue Methoden zur Verbesserung der sphärischen Korrektion, angewandt auf die Konstruktion von Objektiven großer Apertur". Ges. Abh. von E. Abbe. Jena, G. Fischer 1904. 1. Bd. *S. 196—212.*

der Berechnung des ersten sphärisch, auf den Astigmatismus schiefer Büschel und auf Bildkrümmung korrigierten Objektivs ohne hochbrechendes Kron behandelt wurde. Bei dieser Gelegenheit ist stillschweigend immer die Forderung der Simultankorrektion in das Problem einbezogen worden. Man kann übrigens im Vorbeigehen bemerken, daß die erste Konstruktion eines solchen Objektivs (aus Kron geringerer und Flint höherer Brechung) wohl auf H. D. Taylor[1]) und das Jahr 1893 zurückgeht, denn es muß deutlich ausgesprochen werden, daß der Anspruch J. Petzvals[2]) — so viele Wahrscheinlichkeitsgründe auch für ihn sprechen — nicht bewiesen werden kann, da gleichzeitige Veröffentlichungen fehlen. Die Priorität dieser Arbeit J. Petzvals besteht erst seit dem Jahre 1906, und die optische Welt verdankt die Kenntnis davon nicht J. Petzval, sondern L. Erményi.

Wendet man sich nun der andern Methode, der der gesonderten Korrektion, zu, so ging man von einem für einen Achsenpunkt aplanatischen und für den Astigmatismus schiefer Büschel korrigierten Objektiv aus und versuchte die Ebenung des Feldes punktueller Abbildung durch ein Zusatzsystem zu erreichen, das den oben beschriebenen Korrektionszustand praktisch ungeändert ließ. Dies ist möglich, weil nach dem Coddington-Petzvalschen Theorem der Abstand der Flächen von einander ganz ohne Belang ist, durch die die Ebenung des Bildes erzielt wird.

Der erste, der durch ein Zusatzsystem in ganz reiner Form auch noch den letzten der fünf Seidelschen Fehler korrigierte, den das lichtstarke Porträtobjektiv noch aufwies, war Charles Piazzi Smyth, zu jener Zeit der Vorsteher der Edinburgher Sternwarte. Er veröffentlichte[3]) schon gegen den Ausgang des Jahres 1873, dann ausführlicher etwa anderthalb Jahre später ein Korrektionsmittel, wodurch ein System hoher Öffnung ein geebnetes, vom Astigmatismus freies Bildfeld erhielt. Er brachte eine von der Pariser Firma Gasc & Charconnet nach seinen Angaben ausgeführte Zerstreuungslinse aus Kronglas bei einem Porträtobjektiv ganz in die Nähe des Bildorts, sodaß sie den Korrektionszustand der endlich geöffneten Büschel geringer Neigung kaum störte und auch die Brennweite nicht merklich veränderte; dagegen verlängerte die große Randdicke der Negativlinse in seiner Ausdrucksweise die zu kurzen Schnittweiten der schiefen Büschel von endlicher Neigung. Er war auf Grund

---

[1]) *An improvement in photographic lenses, also applicable to microscopes and lantern objectives. E. P. 1991/93; date of appl. 30. I. 1893; compl. spec. 30. X. 93; acc. 30. I. 94.* Bei Kronmaterial von $n_D = 1{,}52$ und Flintmaterial von $n_D = 1{,}60$ und 1,65 ist die sphärische Korrektion und die Erfüllung der Sinusbedingung etwa für das Öffnungsverhältnis von 1:8 erreicht, während die Abweichungen Δ der Abszissen der $\mathfrak{f}$- und der t-Werte von der des Brennpunkts F'_D für die objektseitigen Hauptstrahlneigungen w die folgenden sind:

w	$\Delta\mathfrak{f}$	Δt	$\Delta t - \Delta\mathfrak{f}$
10°	— 0,5	+ 0,2	0,7
20°	— 0,7	+ 1,7	2,4
30°	+ 0,5	+ 1,2	0,7

Die angeführten Zahlen sind interpolierte Werte aus den für $f_D = 100$ *mm* umgerechneten Werten der trigonometrischen Durchrechnung. Auf diese Taylorsche Schrift, die in meiner Monographie des photographischen Objektivs übersehen war, habe ich in der zweiten Auflage des Czapskischen Handbuchs (auf *S. 317, Anm. 1*) hingewiesen.

[2]) M. von Rohr, Die optischen Systeme aus J. Petzvals Nachlaß. *Phot. Korr.* **48.** *Nr. 549. S. 266—276. 1906.* S. auch von demselben Verf. „Zur Erinnerung an Josef Max Petzval". *Diese Zeitschr.* **27.** *S. 1—6. 1907.*

[3]) *Optical help to „Rapidomanie." Brit. Journ. Alm. 1874. S. 43—47.* Dieser Almanach erscheint regelmäßig in den letzten Wochen des Vorjahres. S. auch von demselben Verf. *„How to take landscapes with portrait lenses at full aperture". The Brit. Journ. of Phot.* **22.** *Nr. 782. S. 208—209. 1875*

dieser Vorstellung imstande, in ganz korrekter Weise die Brennweite der Zusatzlinse zu bestimmen.

So wurde hier einem auf den Astigmatismus schiefer Büschel korrigierten, verzeichnungsfreien Objektiv mit sehr vollkommener sphärischer Korrektion und Erfüllung der Sinusbedingung auch noch die Bildebenung verliehen, und das alles geschah zu einer Zeit, da J. Petzval noch am Leben war und noch die geistigen Fähigkeiten besessen hätte, um die so gut zu seinen theoretischen Ergebnissen stimmende Wirkung dieses Mittels zu würdigen. Irgendwelche Beachtung in den Kreisen der technischen Optik hat aber die Smythische Methode für photographische Zwecke nicht gefunden; ihr Auftreten scheint überhaupt nicht bemerkt worden zu sein.

Die einzige Bemerkung, die in der durchgesehenen Literatur hierzu gefunden wurde, stammt aus der Feder des wohlunterrichteten Redakteurs J. Traill Taylor, und danach hat — wohl gegen das Ende des Jahres 1894 — die optische Firma Swift & Son solche Smythische Korrektoren für Projektionssysteme nach dem Typus der Porträtobjektive in den Handel gebracht.

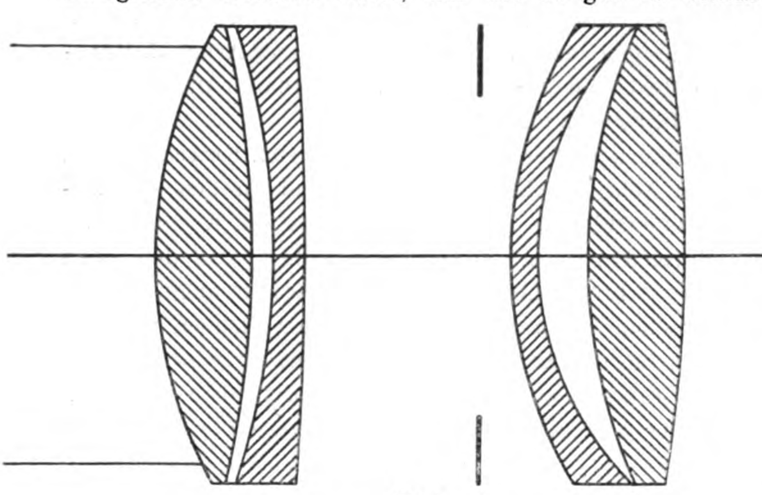


Fig. 1.

Durchgerechnet für 1 : 1,81 und $\omega = 10{,}9^{0}$.

Radien r_ν, Dicken d_ν und Entfernungen b_ν in Millimeter auf der Achse gemessen.

				Glasarten n_D
$r_1 = 63{,}1$	$d_1 = 12{,}9$	$r_5 = 58{,}8$	$d_3 = 3{,}7$	$L_1 = L_4 = 1{,}51579$
$r_2 = 132{,}0$	$b_1 = 2{,}9$	$r_6 = 42{,}4$	$b_4 = 6{,}6$	$L_2 = L_3 = 1{,}71543$
$r_3 = 93{,}8$	$d_2 = 3{,}7$	$r_7 = 75{,}7$	$d_4 = 12{,}9$	
$r_4 = 371{,}4$ konvex		$r_8 = 176{,}5$		
	$b_2 = 23{,}2$			
	$b_3 = 4{,}0$			

Es ist nicht weiter wunderbar, daß diese Idee keinen Anklang unter den Optikern ihrer Entstehungszeit fand. Für die photographischen Apparate der üblichen Form war ein System der von Ch. Piazzi Smyth vorgeschlagenen Art durchaus unverwendbar, und die von ihm empfohlene Kamera scheint nun gar keinen Anklang gefunden zu haben. Heute aber wird man ihm williger die Anerkennung zollen, die damals ausblieb. War er doch schon seit der Mitte der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts ein glänzender Anwalt für Aufnahmen kleinsten Formats gewesen, und wollte er sie doch allgemein nach seinem Vorgange den geradezu gewaltigen Vergrößerungen unterzogen wissen, die das nasse Verfahren erlaubte. Hatte ihn nun zu jener frühen Zeit die Bildkrümmung des Porträtobjektivs nicht selten behindert, so sollte jetzt — in der Mitte der siebziger Jahre — die Korrektionslinse der kleinen Kamera eine weitere Vollendung verschaffen. Doch hat auch dieser Autor erfahren, daß es nicht gut tut, seinen Zeitgenossen gar zu weit voraus zu sein, und die Aufnahme, die sein Vorschlag fand oder richtiger nicht fand, ist ein gutes Beispiel dafür, daß selbst in Zeiten lebendiger Anteilnahme des Publikums leicht brauchbare Ideen unbeachtet bleiben, wenn sie von dem Gewohnten weit abweichen.

Um nun zu den Mitteln der gesonderten Korrektion zurückzukehren, so wurde nicht lange nach der Smythischen Veröffentlichung, nämlich 1878, eine Korrektions-

linse negativer Brennweite bekannt, die nahe an — genauer, vor — ein Porträtobjektiv gesetzt wurde. Hier handelte es sich um eine achromatische Konstruktion, doch ist keinerlei Angabe über die Konstruktionsdaten bekannt geworden, sodaß man sich von einer Leistung dieser Knappschen Vorrichtung kein Bild machen kann. Die Praxis hat jedenfalls nicht für diese Idee gesprochen. Eine ähnliche Einrichtung hat sich Th. R. Dallmeyer im Jahre 1896 schützen lassen, wo er die achromatische Negativlinse dicht hinter ein Porträtobjektiv setzte; doch scheint auch hier der Erfolg nicht besonders groß gewesen zu sein. Eine Anführung der Quellen für diese beiden letzten Angaben ist darum unnötig, weil sie bereits in der Monographie des Verfassers über das photographische Objektiv enthalten sind.

In dem gegenwärtigen Falle schied die Anwendung einer zerstreuenden Korrektionslinse in der Nähe des Objektivs aus, da dadurch die Brennweite stark verlängert und das Öffnungsverhältnis entsprechend heruntergesetzt worden wäre, während im Beginn dieser Auseinandersetzung ja gerade die Forderung eines möglichst gesteigerten Öffnungsverhältnisses betont worden war. Mithin ergab sich die Anwendung der alten Smythischen Negativlinse dicht am Orte des Bildes ganz von selbst.

Als eigentliches Objektiv wurde ein Typus gewählt, auf den der Verf.[1]) im Jahre 1906 ein Patent angemeldet hatte, und zwar gerade für die Verwendung zu den Zwecken der Projektion. Die sphärische Aberration ließ sich für das große Öffnungsverhältnis von 1 : 1,8 korrigieren, und auch die Erfüllung der Sinusbedingung war recht befriedigend. Man kann sich bei der Projektion geeigneter mikroskopischer Präparate recht gut davon überzeugen, daß dieser Typus entsprechenden Mikroskopobjektiven in der Ausdehnung des brauchbaren Feldes und entsprechenden photographischen Konstruktionen mit geebnetem Felde in der objektähnlichen Wiedergabe feiner Einzelheiten überlegen ist. Die in den nebenstehenden Fig. 1 enthaltene Darstellung benutzt die Konstruktionsdaten der Patentschrift, doch wurden sie — dem auch in dieser Zeitschrift geübten Gebrauch des Verf. entsprechend — auf die Brennweite von $f_D = 100$ *mm* reduziert. Die Zonen betragen nach Fig. 2 etwa 0,4 und 0,25 *mm* je für die sphärische Aberration und die Abweichungen von der Erfüllung der Sinusbedingung. Was die Korrektion des Astigmatismus schiefer Büschel angeht, so zeigt die umstehende Fig. 3, daß eine befriedigende Hebung dieses Bildfehlers erreicht werden konnte. Dagegen ist eine Bildfeldkrümmung vorhanden, wie sie etwa bei dem Petzvalschen Porträtobjektiv[2]) zu beobachten ist.

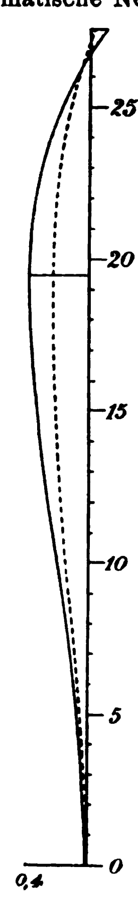


Fig. 2.
Als Ordinaten sind die Einfallshöhen in *mm* (für $f_D = 100$ *mm*) aufgetragen. — Die Abszissen der ausgezogenen Kurve sind die Longitudinalaberrationen von der Schnittweite des Achsenstrahls. — Die Abszissen der gestrichelten Kurve sind die Longitudinalaberrationen von der Brennweite des Achsenstrahls.

[1]) Firma Carl Zeiss in Jena, Sphärisch und chromatisch korrigiertes Doppelobjektiv mit zweilinsigen Gliedern, die zerstreuende Nachbarflächenpaare einschließen und deren Flintglaslinsen innen liegen und einander Nichthohlflächen zukehren. D. R. P. Nr. 186473 vom 10. VII. 1906. Ausgeg. 25. VI. 1907.

[2]) Über ältere Porträtobjektive. *Diese Zeitschr.* **21.** *S. 49—52. 1901.*

Fügt man nun die Smythische Negativlinse (s. Fig. 5) so ein, daß der Abstand zwischen den Scheiteln der beiden Innenflächen etwa 52 *mm* beträgt, so wird der Astigmatismus schiefer Büschel nicht vergrößert, dagegen wird die Ebenung der Fläche der punktuellen Abbildung ganz wesentlich verbessert, was ebenfalls graphisch, und zwar in der Fig. 4, dargestellt worden ist. Die Brennweite des ganzen Systems wird nur ganz unwesentlich verändert; die Werte von Fig. 4 sind der Vergleichbarkeit wegen auf $f_D = 100$ *mm* gebracht worden. Auch die praktischen Versuche mit der Projektion äußerst feiner Probeobjekte zeigten deutlich den großen Vorteil, der hinsichtlich der Ebenung des Bildfeldes erreicht worden war, und zwar ohne daß man die Vorteile der hohen Apertur dafür hätte aufgeben müssen.

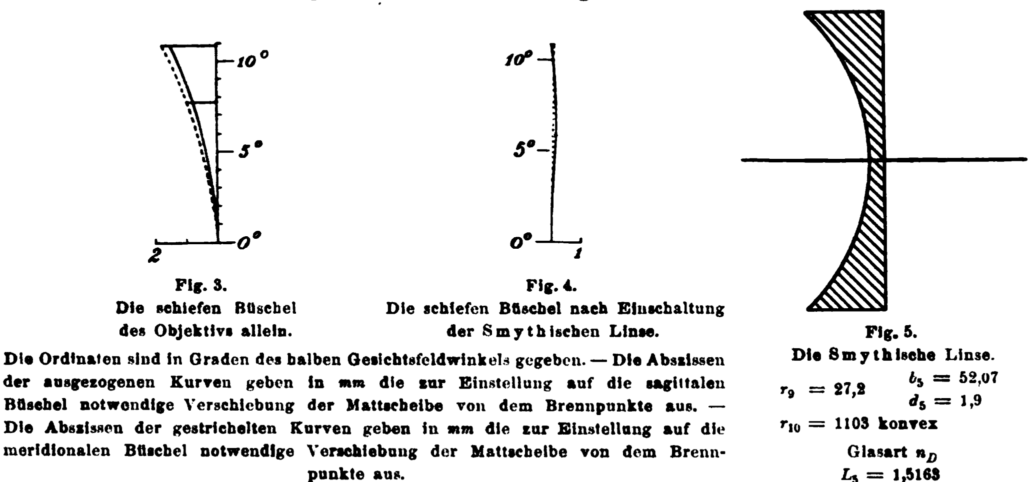


Fig. 3. Die schiefen Büschel des Objektivs allein.

Fig. 4. Die schiefen Büschel nach Einschaltung der Smythischen Linse.

Die Ordinaten sind in Graden des halben Gesichtsfeldwinkels gegeben. — Die Abszissen der ausgezogenen Kurven geben in *mm* die zur Einstellung auf die sagittalen Büschel notwendige Verschiebung der Mattscheibe von dem Brennpunkte aus. — Die Abszissen der gestrichelten Kurven geben in *mm* die zur Einstellung auf die meridionalen Büschel notwendige Verschiebung der Mattscheibe von dem Brennpunkte aus.

Fig. 5. Die Smythische Linse.

$r_9 = 27{,}2$ $\quad b_5 = 52{,}07$ $\quad d_5 = 1{,}9$

$r_{10} = 1103$ konvex

Glasart n_D

$L_3 = 1{,}5163$

So hat schließlich doch noch einmal, wenn auch spät und zögernd, die optische Technik den fast vergessenen Gedanken eines Mannes aufgenommen, der unter die fähigsten und ansprechendsten Vertreter der alten englischen Schule zu zählen ist, und es ist damit wieder ein Beispiel dafür geliefert worden, welche Wirkung intelligente Amateure ausüben können. Nach des Verf. Meinung geben eben solche Anregungen auf der einen und die Einzelarbeiten der Spezialisten auf der andern Seite die Grundbedingungen ab, die zur gedeihlichen Entwicklung eines technischen Sondergebiets erforderlich sind.

Flüssigkeitskondensoren von großer Apertur.

Von

A. Köhler in Jena.

(Mitteilung aus der optischen Werkstätte von Carl Zeiss.)

Das im vorstehenden Aufsatz näher beschriebene Biotar besitzt einerseits einen Öffnungswinkel, der dem mittelstarken Mikroskopobjektive nahekommt, andererseits ist aber die Ausdehnung des Sehfeldes im Verhältnis zur Brennweite wesentlich größer als bei dieser Klasse von Objektiven. Infolgedessen muß auch ein Beleuchtungssystem, das die Leistung des Biotars vollkommen nutzbar machen soll, besonders hohen Anforderungen genügen.

Eine möglichst vollkommene Ausnutzung der großen Öffnung des Biotars ist nun jedenfalls geboten, wenn die Beleuchtung durch eine Lichtquelle von kleiner spezifischer Intensität, aber großer Ausdehnung bewirkt wird. Stellt $O_1\,O\,O_2$ (Fig. 1) das Sehfeld und $P_1\,P\,P_2$ die Eintrittspupille des Biotars dar, so müssen von jedem

Punkt des Sehfeldes Strahlenkegel $O\,P_1\,P_2$, $O_1\,P_1\,P_2$.... ausgehen, die die ganze Eintrittspupille ausfüllen. Strahlenkegel von gleichem Scheitelwinkel muß natürlich jeder Punkt der Objektebene vom Kondensor empfangen. Den dafür erforderlichen Durchmesser der Kondensorlinse erhält man, wie leicht ersichtlich, wenn man die Strahlen $O_1\,P_2$ und $O_2\,P_1$ rückwärts verlängert, bis sie die letzte, dem Objekt zugewandte Kondensorfläche treffen.

Es ist weiter erforderlich, daß der Kondensor die Lichtquelle möglichst am Ort der Eintrittspupille des Objektivs abbildet. Denn nur dann sendet jeder Punkt der Lichtquelle Strahlen zu allen Punkten der Objektebene (z. B. $LO_1 - LO - LO_2$), und diese Strahlen gehen *alle* durch das Objektiv hindurch zu dem Bilde: das ist aber die Bedingung dafür, daß das Bild gleichmäßige Helligkeit aufweist selbst dann, wenn die Lichtquelle nicht an allen Stellen die gleiche Leuchtkraft besitzt.

Da nun die Eintrittspupille des in Rede stehenden Biotars etwa 4 *cm* Durchmesser besitzt, so muß das Bild der Lichtquelle ungefähr dieselbe Größe besitzen. Eine Lichtquelle von ungefähr gleicher Ausdehnung, wie z. B. hängendes Gasglühlicht, muß daher durch den Kondensor in natürlicher Größe abgebildet werden, Lichtquellen von kleinerer Ausdehnung dagegen, wie z. B. Bogenlicht oder Kalklicht, würden eine erheblich stärkere Vergrößerung erfordern, wenn anders die Öffnung des Biotars vollkommen ausgenutzt werden soll.

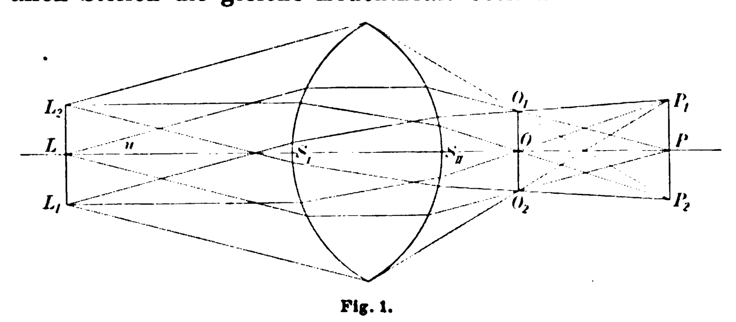


Fig. 1.

Eine bestimmte Vergrößerung der Lichtquelle, wie sie nach dem Vorangehenden gefordert wird, kann man nun bei sehr verschiedener Brennweite des abbildenden Systems, hier also des Kondensors, erreichen. Für die Wahl einer bestimmten Brennweite sind die folgenden Gesichtspunkte maßgebend.

Zunächst muß offenbar die hintere Schnittweite des Kondensors, d. h. der Abstand des Bildes der Lichtquelle vom hinteren Linsenscheitel S_{II} größer sein als der Abstand des Objekts von der Eintrittspupille. Ferner muß der Abstand der Lichtquelle vom vorderen Linsenscheitel S_I so groß sein, daß der Kondensor durch die Wärmeentwicklung der Lichtquelle nicht gefährdet wird. Weicht aber die leuchtende Fläche der Lichtquelle wesentlich von der Fläche ab, die der Eintrittspupille $P_1\,P\,P_2$ in bezug auf den Kondensor konjugiert ist, so muß außer der Lateralvergrößerung auch die Vergrößerung, die der Kondensor in der Richtung der Achse liefert — die Tiefenvergrößerung — berücksichtigt werden.

Für einen Fall, die Verwendung von Gasglühlicht, soll diese Überlegung näher ausgeführt werden. Wir machen folgende Voraussetzungen:

1. Die Lichtquelle hat die Gestalt eines Zylinders, dessen Achse senkrecht die Kondensorachse schneidet.

2. Der größte, zur Kondensorachse senkrechte Durchschnitt durch die Lichtquelle y (Fig. 2) soll in gleicher Größe y' in der Eintrittspupille abgebildet werden.

3. Alle zur Kondensorachse senkrechten Durchschnitte durch die Lichtquelle sollen reell abgebildet werden.

4. Vordere und hintere Brennweite f und f' des Kondensors sind gleich.

Die Lage von Objekt und Bild in bezug auf die Brennpunkte des Kondensors unter diesen Voraussetzungen ist in Fig. 2 dargestellt. Gemäß Voraussetzung 2 liegt der größte Durchschnitt der leuchtenden Zylinderfläche y in einem Abstand $x = f$ vor dem vorderen Brennpunkt F des Kondensors. Sein Bild y' liegt dann im Abstand $x' = f' = f$ hinter dem hinteren Brennpunkt F' des Kondensors. Das dem Kondensor nächste Flächenstück des Leuchtkörpers y_1 hat von y den Abstand d_1, sein Bild y_1' liegt dann um die Strecke d_1' hinter y'. Aus Voraussetzung 3 ergibt sich hier schon eine Grenze für die Brennweite: es muß sein $f > d_1$, denn im Grenzfall $f = d_1$ würde y_1 schon virtuell (im Unendlichen) abgebildet werden.

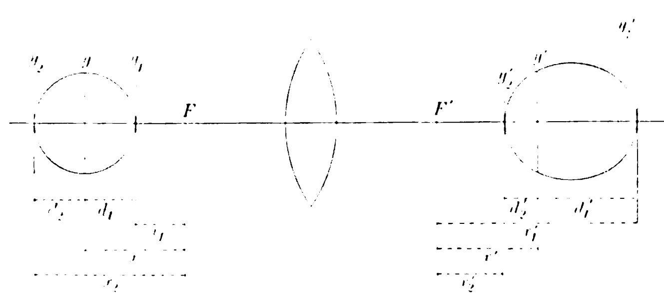


Fig. 2.

Das vom Kondensor abgewandte Flächenstück y_2 liegt um $d_2 = d_1$ vor dem Querschnitt y; es wird in y_2', von dem Bild y' um die Strecke d_2' entfernt, abgebildet.

Hieraus ist ersichtlich, daß die oben aufgestellte Forderung, die leuchtende Fläche der Lichtquelle solle möglichst nahe der Eintrittspupille abgebildet werden, nur erfüllt werden kann, wenn d_1' und d_2' genügend klein bleiben. Die Bedingung dafür läßt sich folgendermaßen ableiten.

Es sei der Abstand der Bilder y', y_1' und y_2' vom Brennpunkt F' der Reihe nach x', x_1' und x_2', so ist

$$d_1' = x_1' - x' \qquad \text{und} \qquad d_2' = x' - x_2'.$$

Da nun die Vergrößerung des Bildes y' gleich der Einheit ist, so folgt

$$x' = f.$$

Daher ist

$$d_1' = x_1' - f \qquad \text{und} \qquad d_2' = f - x_2'. \tag{1}$$

Nennen wir nun die Abstände der drei Querschnitte der Lichtquelle y, y_1 und y_2 vom Brennpunkt F der Reihe nach x, x_1 und x_2, so ist nach den Abbildungsgesetzen

$$x_1' = \frac{f^2}{x_1} \qquad \text{und} \qquad x_2' = \frac{f^2}{x_2} \tag{2}$$

und wegen der Abbildung von y in gleicher Größe ist $x = f$.

Bei der Zylinderform der Lichtquelle ist $d_1 = d_2 = d$; daher ist

$$x_1 = f - d \qquad \text{und} \qquad x_2 = f + d. \tag{3}$$

Aus den Gl. 2) und 3) folgt

$$x_1' = \frac{f^2}{f - d} \qquad \text{und} \qquad x_2' = \frac{f^2}{f + d} \tag{4}$$

und aus den Gl. 1) und 4)

$$d_1' = \frac{fd}{f - d} \qquad \text{und} \qquad d_2' = \frac{fd}{f + d} \tag{5}$$

oder

$$d_1' = \frac{1}{\frac{1}{d} - \frac{1}{f}} \qquad \text{und} \qquad d_2' = \frac{1}{\frac{1}{d} + \frac{1}{f}}. \tag{6}$$

Daraus folgt zunächst, daß für endliche Werte von d und f stets ist

$$d_1' > d_2'.$$

Der Abstand der beiden Bilder y_1' und y_2', oder die Tiefenausdehnung des Bildes der Lichtquelle t', ist nach Gl. 6)

$$t' = d_1' - d_2' = \frac{1}{\frac{1}{d} - \frac{1}{f}} + \frac{1}{\frac{1}{d} + \frac{1}{f}}$$

oder

$$t' = \frac{\frac{2}{d}}{\frac{1}{d^2} - \frac{1}{f^2}}. \qquad 7)$$

Die Tiefe t' wird also um so kleiner, je größer f wird, und für große Werte von f nähert sich t' dem kleinsten Wert

$$t' = 2d, \qquad 8)$$

d. h. das räumliche Bild der Lichtquelle wird dieser selbst gleich, und die Lateral- und die Tiefenvergrößerung werden beide gleich der Einheit.

Sehr groß braucht man übrigens die Brennweite in unserem Falle nicht zu nehmen, um zu kleinen Werten von t' zu gelangen: wenn die Brennweite nur gleich dem Fünffachen von d ist, so wird t' nur um etwa 4 Prozent größer als das durch Gl. 8) bestimmte Minimum.

Man wird sich daher aus naheliegenden Gründen auf mäßig große Werte der Brennweite beschränken können und trotzdem die als Beispiel gewählte Lichtquelle in ihrer ganzen Ausdehnung so nahe an der Eintrittspupille des Biotars abbilden können, daß eine gleichmäßige Beleuchtung des ganzen Gesichtsfeldes gewährleistet wird.

Die Geltung unserer bisherigen Betrachtungen ist allerdings an die Voraussetzung geknüpft, daß wenigstens annähernd eine Abbildung der Lichtquelle gemäß den allgemeinen Abbildungsgesetzen erfolgt, nach denen ja oben die Lagebeziehungen von Bild und Objekt abgeleitet wurden. Diese Voraussetzungen sind aber bei Systemen von so großer Öffnung, wie sie hier in Frage kommen, nicht mehr erfüllt, wenn man die einfachen Hilfsmittel anwendet, mit denen man sich bisher beim Bau von Kondensoren begnügt hat. Man muß vielmehr, um Ergebnisse zu erhalten, die einigermaßen mit der oben entwickelten Theorie im Einklang bleiben, aplanatische Systeme als Kondensoren verwenden. Wie die Erfahrung lehrt, genügt es hierbei den Aplanatismus für eine Farbe zu erreichen und auf die chromatischen Korrektionen völlig zu verzichten.

Nun ist schon lange bekannt, daß eine Plankonvexlinse, deren konvexe Fläche die Gestalt eines bestimmten Hyperboloids hat, für Strahlen, die parallel zur Achse

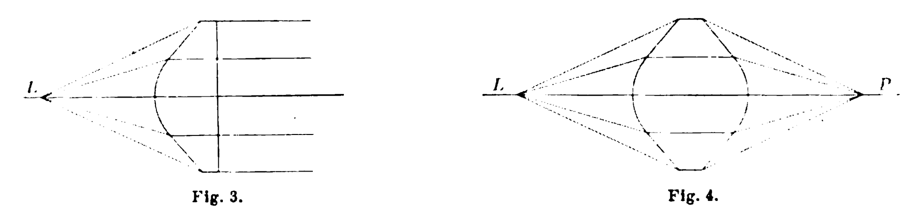


Fig. 3. Fig. 4.

auf die Planfläche einfallen, frei von sphärischer Aberration ist (Fig. 3). Ferner ist es bekannt, daß zwei solcher Linsen, mit den Planflächen aneinandergelegt, eine für die Abbildung in gleicher Größe aplanatische Linse bilden (Fig. 4). Eine solche bihyperbolische Linse muß daher für unseren Zweck einen sehr geeigneten Kondensor bilden.

Bei der praktischen Ausführung schien es nun empfehlenswert, als Material für diese Linse nicht Glas zu verwenden, sondern zunächst mit Rücksicht auf den Preis Wasser. Ein Kondensor dieser Art besteht also aus einem Gefäß, das den bei Projektionsapparaten gebräuchlichen Wasserkammern gleicht; statt der planen Spiegelglasscheiben, die diese besitzen, sind aber zwei hyperboloidische Schalen eingesetzt. Die Brechung, die die Strahlen in den dünnen Schalen erfahren, kann für den vorliegenden Zweck vernachlässigt werden.

Ist die Lichtquelle von geringer Ausdehnung, sodaß eine Abbildung in gleicher Größe nicht ausreichend ist, so kann man ebenfalls von dieser bihyperbolischen Wasserlinse Gebrauch machen. Man muß nur zwischen ihr und der Lichtquelle eine Zusatzlinse einschalten, die von der kleinen Lichtquelle l ein vergrößertes Bild l^* (Fig. 5) erzeugt: dieses Bild projiziert dann das Bihyperboloid in *gleicher* Größe in die Eintrittspupille des Objektivs. Ein solches Zusatzsystem, das von einer Lichtquelle l ein *virtuelles* vergrößertes Bild l^* erzeugt, kann mit viel geringeren Mitteln hergestellt werden als ein System, das bei gleicher Vergrößerung und gleichem Öffnungswinkel ein *reelles* Bild entwirft. Denn während das erste, um das virtuelle Bild zu erzeugen, den unter dem Winkel u (Fig. 5) austretenden Randstrahl nur um den Winkel δ ablenken muß, hat das zweite (Fig. 6), um das reelle Bild zu entwerfen, eine Ablenkung

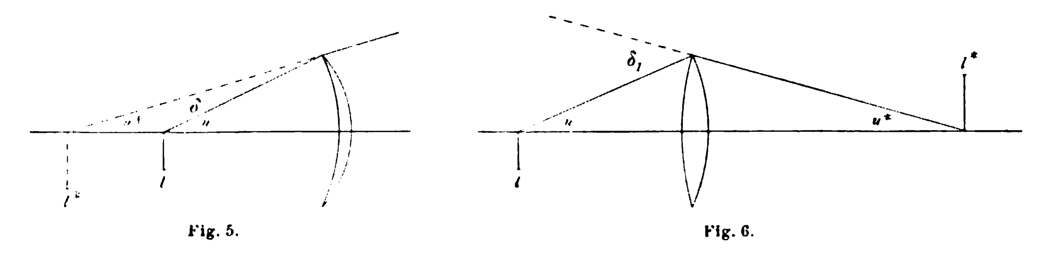


Fig. 5. Fig. 6.

des Strahls um den großen Winkei δ_1 zu leisten: eine Arbeit, die bei dem oben angegebenen zusammengesetzten System das Bihyperboloid mit seinen beiden Flächen leisten hilft.

Zu gleicher Zeit erfüllt es natürlich auch die Aufgabe, die sonst der besonders eingeschalteten Wasserkammer zukommt: es absorbiert die Wärmestrahlen. Durch diese doppelte Funktion ist eine wesentliche Ersparnis an partiell reflektierenden Flächen zwischen Objekt und Lichtquelle bedingt, die der Helligkeit des Bildes zugute kommt.

Dieses Vorteils wegen empfiehlt sich die Anwendung eines solchen Wasserkondensors auch allgemein für Projektionsapparate, ohne Rücksicht auf die Verwendung des Biotars. Zunächst für die Projektion von Diapositiven der gebräuchlichen Formate. Bei solchen Projektionen ist der Bildausschnitt verhältnismäßig groß und wird darum stets nahe an den Kondensor gelegt, und im Vergleich zu ihm ist die Eintrittspupille des Projektionssystems klein. Unter *diesen* Umständen läßt sich die erforderliche Größe des Kondensors ohne wesentlichen Fehler annähernd in der Weise bestimmen, daß man von der Mitte der Eintrittspupille P (Fig. 1) Hauptstrahlen nach den Ecken des Bildausschnittes ($O_1\, O_2$) zieht. Diese schließen mit der Achse des Systems einen Winkel $O_1 P O = w$ ein, der das halbe angulare objektseitige Sehfeld des Projektionssystems darstellt. Zugleich ist dieser Winkel aber auch der halbe bildseitige Öffnungswinkel u' des Kondensors, insofern man die Abbildung der Lichtquelle betrachtet. Hat die Eintrittspupille des Projektionssystems den Halbmesser $P P_1 = p$, so muß das Bild der Lichtquelle, das der Kondensor entwirft, — bei voller Ausnutzung

des Systems — den Halbmesser $l' = p$ besitzen. Nach dem Sinussatz muß dann, wenn der Kondensor aplanatisch ist und der Halbmesser der als kreisförmig angenommenen Lichtquelle $L L_1 = l$ ist, die Gleichung gelten

$$l \sin u = l' \sin u'$$

oder, wenn wir berücksichtigen, das $u' = w$ gleich dem halben angularen Sehfeld und $l' = p$, dem Halbmesser der Eintrittspupille des Projektionssystem, ist

$$l \sin u = p \sin w .$$

Das Bihyperboloid allein ist unter diesen Umständen nur dann ausreichend, wenn $l = p$ ist, da nur für die Abbildung der Lichtquelle in gleicher Größe die Bedingungen des Aplanatismus erfüllt sind.

Ist die Lichtquelle dagegen kleiner, und muß deren Bild l' vergrößert in die Eintrittspupille entworfen werden, so kann man zwei Wege einschlagen.

1. Man schaltet, gerade wie wir es schon oben erwähnt hatten, vor das Bihyperboloid eine aplanatische Sammellinse oder ein System von solchen ein (Fig. 5), das von der kleinen Lichtquelle l ein virtuelles Bild l^* erzeugt, das dann durch das Bihyperboloid in gleicher Größe in die Eintrittspupille abgebildet wird. Es ist dann, unter Berücksichtigung der Abbildung durch diese Vorsatzlinse,

$$l \sin u = l^* \sin u^* = p \sin w ,$$

wo $l < l^*$ und $l^* = p$ ist (nur die absoluten Werte, ohne Rücksicht auf Vorzeichen, verglichen).

2. Man schaltet dicht hinter das Bihyperboloid eine aplanatische Zerstreuungslinse (Fig. 7). Das Bihyperboloid erzeugt dann ein Bild der Lichtquelle in gleicher Größe l^0, dieses wird aber, ehe es zustande kommt, von der aplanatischen Zerstreuungslinse vergrößert weiter abgebildet (l'). Es gilt dann wieder

$$l \sin u = l^0 \sin u^0 = p \sin w ,$$

wo aber $l = l^0$ und $l^0 < p$ ist (ohne Rücksicht auf die Vorzeichen).

3. Verzichtet man auf die Aplanasie und hält nur die Forderung homozentrischer Strahlenvereinigung auf der Achse in den Fußpunkten von l und p, d. h. in den Punkten L und P, aufrecht, so kann man auch als Kondensor ein hemisymmetrisches

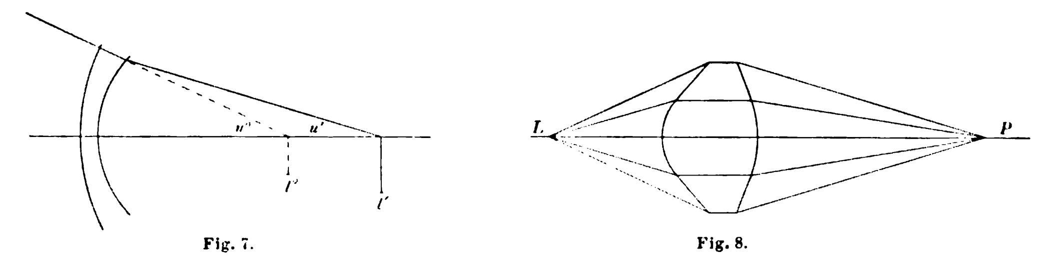


Fig. 7. Fig. 8.

Hyperboloid verwenden (Fig. 8). Die verschiedenen, innerhalb der Strahlenkegel $2u$ und $2w$ enthaltenen Elementarkegel erzeugen dann, da die Sinusbedingung nicht erfüllt ist, einzeln für sich „Bilder" der Lichtquelle von verschiedener Größe, die sich nicht völlig decken, aber wegen der homozentrischen Vereinigung der Hauptstrahlen dennoch alle durch deren Schnittpunkt mit der Achse, d. h. durch die Mitte der Eintrittspupille des Projektionssystems, gehen.

4. Endlich kann man auch die Forderung einer streng homozentrischen Strahlenvereinigung auf der Achse fallen lassen, indem man den Kondensor, wie es bei Glaskondensoren schon lange üblich ist, in zwei Hälften zerlegt, zwischen denen die

Hauptstrahlen, ähnlich wie bei 1., 2. und 3. innerhalb der Wasserschicht, parallel verlaufen (telezentrischer Strahlengang). Zu diesem Zweck ersetzt man die von der Lichtquelle abgewandte Hyperboloidfläche durch eine ebene Fläche (Fig. 3) und sammelt die Strahlen durch eine einfache Plankonvexlinse, das „Einlinsenteil“ (Fig. 9); deren Schnittweite muß dem Abstand der Eintrittspupille des Objektivs vom Bildausschnitt angepaßt sein. Die Schnittpunkte der Zonen sind in $\underline{L'}$ und $\underline{\underline{L'}}$ angedeutet.

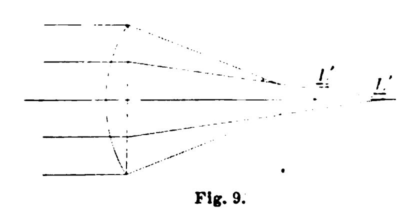


Fig. 9.

Selbstverständlich kann bei 3. und 4. ebenfalls eine aplanatische Sammellinse vor dem Hyperboloid eingeschaltet werden, wenn es sich notwendig erweist.

Für den praktischen Gebrauch scheint in der Regel die in bezug auf die Strahlenvereinigung unvollkommenste, die vierte Art, am zweckmäßigsten zu sein. Denn sie führt auf die kleinsten Linsendurchmesser, weil der Bildausschnitt dicht hinter der Planfläche der sphärischen Plankonvexlinse (des „Einlinsenteils“) liegen kann; die anderen Arten dagegen erfordern alle wesentlich größere Durchmesser — besonders bei größerem Winkel w —, weil der vorspringende Scheitel des Hyperboloids (Fig. 4, Fig. 8) oder außerdem die eingeschaltete Konkavlinse (Fig. 7) eine Annäherung des Bildausschnitts an den Kondensor verbietet.

Den bisherigen Kondensoren gegenüber besteht aber immer noch der Vorteil, daß das der Lichtquelle zugewandte konvexplane Hyperboloid ein streng achsen-paralleles Strahlenbündel liefert (analog dem Parabolspiegel eines Scheinwerfers), sodaß die Aberrationen in dieser Beziehung nur von der Plankonvexlinse (dem „Einlinsenteil“) herrühren. Außerdem aber ist es ein entschiedener Vorteil, daß das telezentrische Büschel und die Absorption der Wärmestrahlen nur durch zwei Brechungen gegen Luft erreicht werden, während derselbe Zweck bei den bisher üblichen Konstruktionen sechs Brechungen gegen Luft (zwei Linsen mit vier Flächen im „Zweilinsenteil“ und zwei Flächen gegen Luft in der Wasserkammer) erforderte.

Auch nach Art eines Scheinwerfers kann ein solches konvexplanes Hyperboloid gebraucht werden, z. B. zur Beleuchtung undurchsichtiger Objekte, die durch Systeme von großer Apertur „episkopisch“ projiziert werden sollen.

Selbstverständlich kommt der Nutzen solcher Wasserkondensoren nur bei nicht zu kleinen Abmessungen zur Geltung; die kleinen Linsen, die man bei Kondensoren für Mikroprojektion und Mikrophotographie braucht, auf diese Art herzustellen, dürfte kaum zweckmäßig sein.

Über die Berechnung von Drehspulgalvanometern und die Beschreibung einer Neukonstruktion.

Von
H. Diesselhorst in Braunschweig.

(Schluß von S. 255.)

Berechnung eines empfindlichen Galvanometers mit Mather-Spule. Die Hauptaufgabe im Galvanometerbau ist die, ein möglichst empfindliches Instrument für Spannungsmessungen zu konstruieren. Bei der Messung einer Spannung tritt der innere Widerstand derselben notwendigerweise als äußerer Widerstand W_a im Galvanometerkreis auf. Wir betrachten daher jetzt als gegeben: den äußeren Widerstand W_a, die un-

gedämpfte (ganze) Schwingungsdauer T und das Dekrement Λ_0 im offenen Kreis oder an Stelle davon die durch Gl. 11) definierte Größe η. Mit diesen Werten soll ein Galvanometer von möglichst großer Spannungsempfindlichkeit P berechnet werden. Dabei hat der Wert des aperiodischen Grenzwiderstandes W, den wir früher auch als gegeben betrachteten, für die Aufgabe keine direkte Bedeutung und kann so gewählt werden, daß die praktischen Grenzen der Konstruktionselemente das Erreichen einer möglichst großen Empfindlichkeit zulassen. Diese berechnet sich dann nach der Formel

$$P = \sqrt{\frac{T(1-\eta)}{\pi D W}}, \tag{34)}$$

die die Umkehrung der zweiten Formel des Schemas II auf *S. 250* ist.

Wir haben bereits (*S. 252*) besprochen, daß zur Erzielung großer Empfindlichkeit bei gegebenem T und η der Wert DW klein gemacht werden muß, und daß dies durch Wahl einer möglichst kleinen Direktionskraft unter Berücksichtigung der zu Gl. 14) gemachten Ausführungen geschieht. Man wählt also zunächst diese so klein, wie sie herstellbar ist, wodurch D und zugleich W_1 festgelegt ist.

Ferner ergibt sich nach Gl. 31) aus T und η der Wert H_0 für die untere Grenze der Feldstärke. Wir wählen oberhalb dieser Grenze einen praktisch möglichen Wert der Feldstärke H, der meist durch das vorhandene Magnetmodell bestimmt sein wird. Wenn möglich, soll H so groß sein, daß $n^2 = \left(\frac{H}{H_0}\right)^2$ einigermaßen groß gegen 1 ist. Es folgt dann aus Gl. 33)

$$W_0 = \frac{W_a + W_1}{n^2 - 1}, \tag{35)}$$

aus welchem Wert man nach Gl. 26) den Drahtradius r nach der Formel

$$r^4 = \frac{T}{\pi^2 \sigma W_0} \sqrt{\frac{D \varkappa \varepsilon a}{3 \pi s}} \tag{36)}$$

berechnet, wobei die Spulenlänge a meist ebenfalls durch das vorhandene Magnetmodell bestimmt sein wird.

Aus Gl. 22) berechnet sich endlich der Wert des Windungsquerschnittes und aus Gl. 24) die Windungszahl, worauf die Spule gewickelt und das Galvanometer zusammengesetzt werden kann.

Zahlenbeispiel. Um Zahlenbeispiele zu berechnen, setzen wir für Kupfer $\sigma = 58 \cdot 10^{-5}$ und erhalten:

$$H_0 = 180{,}2 \sqrt{\frac{s(1-\eta)}{T \varkappa}} \tag{31a)}$$

$$r^4 = 5{,}69 \cdot 10^{-8} \frac{T}{W_0^*} \sqrt{\frac{D \varkappa \varepsilon a}{s}} \tag{36a)}$$

$$R = 0{,}228 \sqrt{T \sqrt{\frac{D \varkappa}{s \varepsilon a}}} \tag{22a)}$$

$$N = 0{,}0518 \frac{T}{r^2} \sqrt{\frac{D \varkappa \varepsilon}{s a}}. \tag{24a)}$$

Als Beispiel nehmen wir das von Jaeger[1]) beschriebene empfindliche Galvanometer, bei dem $W_a^* = 10$ Ohm, $T = 11$ Sek. und $\eta = 0{,}22$[2]) ist. Wir benutzen die dort beschriebene Aufhängung mit $D = 0{,}6$ und $W_1^* = 9$ Ohm und berechnen dafür ein Galvanometer mit Mather-Spule. In die Rechnung gehen die Werte s und ε ein, die von der noch unbekannten zu verwendenden Drahtsorte abhängen, und für

[1]) W. Jaeger, *diese Zeitschr.* **28.** *S. 209. 1908.*

[2]) Dem Dämpfungsverhältnis $k = 2$ oder $\Lambda_0 = 0{,}69$ entsprechend.

die wir zunächst Näherungswerte einsetzen. Da das Gewicht der Umspinnung stets gering gegen das Metallgewicht ist, so ist s nur wenig größer als das spez. Gewicht des Kupfers, während ε in etwas beträchtlicherem Grade kleiner ist als 0,91. Wir setzen $s = 9{,}2$ und $\varepsilon = 0{,}75$. Das Trägheitsmoment des Spiegels und Gestänges sei zu $K_1 = 0{,}07$ bestimmt[1]). Zu den gegebenen Werten T und D findet man nach Gl. 4) als gesamtes Trägheitsmoment erforderlich: $K = 1{,}84$, sodaß nach Gl. 21) $x = 1 - \frac{K_1}{K} = 0{,}962$ wird.

Darnach ergibt sich aus Gl. 31a): $H_0 = 148$.

Das Magnetmodell besitze die Feldstärke $H = 700$ *C.G.S.*, sodaß $n = \frac{H}{H_0} = 4{,}72$ und $n^2 = 22{,}3$ wird. Man erhält also aus Gl. 35): $W_0{}^* = \frac{19}{21{,}3} = 0{,}892$ Ohm.

Sieht man ferner $a = 4$ *cm* als durch das Magnetmodell gegeben an, so wird nach Gl. 36a) die Drahtdicke $2r = 0{,}47$ *mm*, nach Gl. 24a) die Windungszahl $N = 112$ und endlich nach Gl. 22a) der Radius des Windungsquerschnittes $R = 0{,}287$ *cm*.

Sollte sich ergeben, daß bei der berechneten Drahtsorte die Werte ε und s anders ausfallen, als angenommen, so kann man die Rechnung mit den neuen Werten wiederholen.

Nullpunktstörung durch magnetische Richtkräfte. Über die störenden Kräfte, welche in zu starken Feldern infolge der fast stets vorhandenen geringen Magnetisierbarkeit des Spulenmaterials auftreten, ist folgendes vielleicht von Interesse zu bemerken.

Bei jedem Ausschlag tritt eine neue Magnetisierungskomponente auf, welche infolge der Hysterese nach dem Ausschlag remanenten Magnetismus zurückläßt, sodaß die im Feld entstehende Richtkraft die Einstellung nicht auf den Nullpunkt zurückgehen läßt. Ohne Hysterese würde nur die Größe der Direktionskraft um einen konstanten, kleinen Betrag geändert werden, was ganz belanglos wäre. Die infolge der Hysterese auftretende Nullpunktsverschiebung wächst mit der Größe des sie verursachenden Ausschlages. Läßt man auf den ersten Ausschlag einen zweiten kleineren, aber gleichseitigen folgen, so tritt keine Änderung des remanenten Magnetismus und daher auch keine Nullpunktsänderung ein, was einer bekannten Eigenschaft der Magnetisierungskurve entspricht. Sobald jedoch ein Ausschlag den ersten übertrifft oder nach der anderen Seite gerichtet ist, so ändert sich der remanente Magnetismus und damit der Nullpunkt. Ein derartiges Galvanometer läßt sich mit durchaus konstantem Nullpunkt benutzen, wenn man zu Beginn einen sehr großen Ausschlag bewirkt und dafür sorgt, daß alle späteren Ausschläge kleiner sind und nach derselben Seite verlaufen. Dabei muß das Galvanometer aperiodisch sein, damit nicht infolge der Schwingungen entgegengesetzte Ausschläge auftreten. Ein solches Instrument, das zu Versuchszwecken in der Werkstatt der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt angefertigt war und bei einer Direktionskraft von nur $D = 0{,}1$ eine sehr große Empfindlichkeit besaß, zeigte dies Verhalten in ausgesprochener Weise und konnte mit einseitigen Ausschlägen tatsächlich mit Erfolg benutzt werden.

Immerhin wird man in der Praxis derartige Hysteresisstörungen nicht zulassen. Wenn auch die größte Sorgfalt auf die Reinheit des Spulenmaterials von magnetisierbaren Bestandteilen verwendet wird, so darf daher die Feldstärke einen gewissen Betrag nicht überschreiten, der um so niedriger liegt, je kleiner die Direktionskraft

[1]) K_1 und D mißt man bequem durch Beobachtung der Schwingungsdauern der provisorisch montierten Aufhängung, einmal ohne und einmal mit einem Zusatzgewicht von bekanntem Trägheitsmoment (F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. § 29).

ist. Auf *S. 255* ist diese obere Grenze für die an empfindlichen Galvanometern heute üblichen Direktionskräfte zu etwa 1000 *C.G.S.* angenommen. Wenn man jedoch, wie z. B. bei Oszillographen, die Schwingungsdauer auf Kosten der Empfindlichkeit durch Vergrößern der Direktionskraft herabsetzt, so kann man die Feldstärke in gleichem Maße vergrößern, ohne daß die magnetischen Richtkräfte sich störend bemerkbar machen.

Das rationellste Mittel, die Hysteresisstörungen zu beseitigen, ist die Anwendung eines Magnetfeldes, das einen zylindrischen Schlitz radial durchsetzt, wie es bei den meisten Konstruktionen üblich ist. Hier treten magnetische Richtkräfte überhaupt nicht auf, weil die magnetische Kraft überall nach der Drehachse der Spule gerichtet ist. Dabei muß natürlich die Mather-Form der Spule aufgegeben werden, was nach dem auf *S. 253* Ausgeführten die Anwendung dünnerer Drahtstärken erforderlich macht. Wir wollen auch hierfür die Konstruktionsberechnung durchführen.

Spulen in radialem Magnetfeld.

Da die Spule sich in einem zylindrischen Schlitz bewegt, besteht der Spulenquerschnitt aus zwei gegenüberliegenden Segmenten eines Hohlzylinders. Es sei

R der mittlere Radius der Spule,
a die Länge der Spule,
b die Länge des Schlitzes (= Länge des Eisenkerns),
$\beta = \frac{a-b}{a}$ der relative Unterschied zwischen Spulen- und Schlitzlänge,
N die Windungszahl der Spule.

Die Dicke der Spule in Richtung des Radius R wird als klein gegen R angenommen. Die Größen r, s, σ, $\varkappa$ haben die gleiche Bedeutung wie bei den Mather-Spulen. Die relative Raumerfüllung ε kommt nicht in Betracht.

Dann ergibt sich

die Drahtlänge	$L = 2N(a+2R)$,	37)
das Gewicht des Spulendrahtes	$G_0 = Lr^2\pi s = 2Nr^2\pi s(a+2R)$,	38)
der Widerstand der Spule	$W_0 = \frac{L}{\sigma r^2 \pi} = \frac{2N(a+2R)}{\sigma r^2 \pi}$,	39)
die Windungsfläche[1])	$F = N \cdot 2Rb = 2NRa(1-\beta)$.	40)

In Gl. 38) ist das Gewicht der achsenparallelen Teile der Spule $G_0' = 2Nr^2\pi s a$, also das Trägheitsmoment dieser Teile $K_0' = G_0' R^2 = 2Nr^2\pi s a R^2$. Ferner ist das Gewicht der achsensenkrechten Teile $G_0'' = 4Nr^2\pi s R$, also deren Trägheitsmoment $K_0'' = {}^1/_{12}\, G_0''\{(2R)^2 + B^2\}$, wo B die Breite der Spule bedeutet. Da K_0'' überhaupt nur einen kleinen Teil des Trägheitsmomentes ausmacht, und B gegen $2R$ klein ist, so können wir B^2 gegen $(2R)^2$ vernachlässigen und erhalten $K_0'' = {}^4/_3\, Nr^2\pi s R^3$, also als gesamtes Trägheitsmoment des Spulendrahtes

$$K_0 = K_0' + K_0'' = 2Nr^2\pi s a R^2\left(1+\frac{2R}{3a}\right)$$

und schließlich als gesamtes Trägheitsmoment des Systems

$$K = \frac{K_0}{\varkappa} = \frac{2Nr^2\pi s a R^2}{\varkappa}\left(1+\frac{2R}{3a}\right). \qquad 41)$$

[1]) Die Windungsfläche definieren wir so, daß das Produkt aus der Windungsfläche und der im Schlitz vorhandenen Feldstärke das vom Strom Eins bewirkte Drehmoment liefert.

Ist die Direktionskraft D festgelegt, und setzt man in obigen Ausdruck nach Gl. 4) $K = \frac{T^2 D}{4\pi^2}$ ein, so läßt sich die Windungszahl berechnen

$$N = \frac{T^2 D \varkappa}{8\pi^3 s r^2 R^2 a \left(1 + \frac{2R}{3a}\right)} \qquad 42)$$

Hiermit erhält man aus Gl. 38) bis 40)

$$G_0 = \frac{T^2 D \varkappa \Phi}{4\pi^2 R^2} \quad 43) \qquad W_0' = \frac{T^2 D \varkappa \Phi}{4\pi^4 s \sigma r^4 R^2} \quad 44) \qquad F = \frac{T^2 D \varkappa (1-\beta)}{4\pi^3 s r^2 R \left(1 + \frac{2R}{3a}\right)}, \quad 45)$$

wo zur Abkürzung

$$\Phi = \frac{1 + \frac{2R}{a}}{1 + \frac{2R}{3a}} \qquad 46)$$

gesetzt ist. Setzen wir weiter

$$\theta = \left(1 + \frac{2R}{a}\right)\left(1 + \frac{2R}{3a}\right), \qquad 47)$$

so folgt aus den Gl. 44) und 45)

$$\frac{F}{\sqrt{W_0'}} = \frac{T(1-\beta)}{2\pi}\sqrt{\frac{D\varkappa\sigma}{s\theta}}$$

und daher nach der allgemeinen Gleichung 29)

$$H = \frac{2}{1-\beta}\sqrt{\frac{\pi s W'(1-\eta)\theta}{\varkappa\sigma W_0' T}}. \qquad 48)$$

Man erhält wieder eine von der Direktionskraft und dem äußeren Widerstand unabhängige untere Grenze der Feldstärke

$$H_0 = \frac{2}{1-\beta}\sqrt{\frac{\pi s (1-\eta)\theta}{\varkappa\sigma T}}, \qquad 49)$$

setzt

$$H = n H_0 \qquad 50)$$

und hat dann

$$W' = n^2 W_0' \qquad 51)$$

und daraus

$$W_0' = \frac{W_a' + W_1'}{n^2 - 1}, \qquad 52)$$

genau wie bei Mather-Spulen.

Berechnung eines empfindlichen Galvanometers mit radialem Magnetfeld. Stellt man wieder die Aufgabe, für Spannungsmessungen zu gegebenen Werten W_a', T, η ein möglichst empfindliches Galvanometer zu konstruieren, so hat man wiederum zunächst eine Aufhängung mit möglichst kleiner Direktionskraft zu wählen, wodurch D und W_1' bestimmt sind.

Aus Gl. 43) erkennt man, daß beim Verringern des Querschnittes der Aufhängung das Gewicht der Spule mit der Direktionskraft, also schneller als der Querschnitt, abnimmt, sodaß die Tragfähigkeit der Vergrößerung der Empfindlichkeit keine Grenze setzt.

Der Spulenradius R und die Spulenlänge a können beliebig gewählt werden und sind meist durch ein vorhandenes Magnetmodell bestimmt. Auch die Schlitzlänge b und damit $\beta = \frac{a-b}{a}$ ist hierdurch gegeben. Zu berechnen ist die Draht-

stärke und die Windungszahl. Die Breite der Spule ergibt sich, indem man die berechnete Windungszahl auf eine ganze Anzahl von Windungslagen verteilt.

Aus Gl. 49) findet man H_0, wählt die Feldstärke H, die größer als H_0 sein muß und meist, wie R und a, durch das Magnetmodell gegeben ist[1]), und erhält dadurch den Wert $n = \frac{H}{H_0}$ und nach Gl. 52) den Wert W_0. Daraus ergibt sich nach Gl. 44)

$$r^2 = \frac{T}{2\pi^2 R}\sqrt{\frac{D\varkappa\Phi}{s\sigma W_0}} \qquad 53)$$

und endlich N nach Gl. 42), für die man durch Einsetzen von Gl. 53) auch nehmen kann

$$N = \frac{T}{4\pi R a}\sqrt{\frac{D\varkappa\sigma W_0}{s\theta}}. \qquad 54)$$

Zahlenbeispiel. Zur Berechnung von Zahlenbeispielen erhalten wir für Kupferspulen ($\sigma^* = 58 \cdot 10^4$)

$$H_0 = \frac{147}{1-\beta}\sqrt{\frac{s(1-\eta)\theta}{\varkappa T}} \quad 49a) \qquad r^2 = 0{,}665 \cdot 10^{-4}\,\frac{T}{R}\sqrt{\frac{D\varkappa\Phi}{s W_0^*}} \quad 53a)$$

$$N = \frac{0{,}00403\, T^2 D\varkappa}{s r^2 R^2 a\left(1+\frac{2R}{3a}\right)} = 60{,}6\,\frac{T}{Ra}\sqrt{\frac{D\varkappa W_0^*}{s\theta}}. \qquad 54a)$$

Als Beispiel nehmen wir wieder das Jaegersche Galvanometer mit $W_a^* = 10$ Ohm, $T = 11$ Sek., $\eta = 0{,}22$ sowie $D = 0{,}6$ und $W_1^* = 9$ Ohm, für das wir oben die Mather-Spule berechnet haben. Entsprechend dem Magnetmodell setzen wir $a = 3{,}2$ *cm*, $b = 2{,}9$ *cm*, $R = 1{,}3$ *cm*. Dann wird $\beta = 0{,}094$ und ferner nach Gl. 46) und 47) $\Phi = 1{,}43$ und $\theta = 2{,}30$.

Wir legen eine Spule ohne Rahmen zugrunde und setzen wieder $K_1 = 0{,}07$, also $\varkappa = 0{,}962$, und ferner $s = 9{,}2$. Dann wird nach Gl. 49a) $H_0 = 203$.

Dieser Wert würde mit dem bei der Mather-Spule gefundenen (148) näher übereinstimmen, wenn R kleiner und a größer wäre. Bei gleicher Feldstärke H würde dann also auch n und damit nach Gl. 52) W_0 für beide Spulenformen nicht sehr verschieden sein.

Bei radialem Feld kann aber die Feldstärke höher angesetzt werden und ist in dem engen Schlitz von selbst beträchtlich höher als bei Magneten für Mather-Spulen. Wir setzen sie mit $H = 1500$ *C.G.S.* an, sodaß in unserem Falle $n = \frac{H}{H_0} = 7{,}39$ und $n^2 = 54{,}6$ wird.

Nach Gl. 52) erhält man dann $W_0^* = \frac{19}{53{,}6} = 0{,}355$ Ohm und mit diesem Wert nach Gl. 53a) die Drahtstärke $2r = 0{,}336$ *mm* und nach Gl. 54a) die Windungszahl $N = 15{,}8$ oder rund $N = 16$.

Trotz des über doppelt so hohen Wertes der Feldstärke und des daraus resultierenden beträchtlich kleineren Wertes W_0^* ist die Drahtstärke geringer als bei der Mather-Spule (0,47 *mm*), die ja nach *S. 253* mit möglichst dickem Draht auszukommen erlaubt. Da indessen die Drahtstärke immer noch weit über der praktisch zulässigen unteren Grenze liegt, die man heute vielleicht mit $^1/_{20}$ *mm* ansetzen kann, so liegt

[1]) Wenn H nicht direkt am Magnetmodell nach Einsetzen des Kernes im Schlitz gemessen wird, kann es mit einer Probespule oder an einem anderen Galvanometer mit gleichem Magneten gemessen werden, indem man nach Schema I (*S. 250*) den Wert HF bestimmt und die Windungsfläche F nach Gl. 40) direkt ausmißt. Ist $\varkappa$ bekannt, so kann H auch nach Gl. 48) gefunden werden.

keinerlei Veranlassung vor, die Mather-Form in unserem Falle für günstiger zu halten. Im Gegenteil spricht der kleinere Spulenwiderstand, der allerdings in beiden Fällen noch klein gegen den Gesamtwiderstand ist, eher zugunsten der Anordnung mit radialem Feld.

Spule mit Rahmen. Da der Spulenwiderstand ohne erheblichen Nachteil etwas größer und die Drahtstärke noch kleiner werden darf, so kann man einen Teil des Trägheitsmomentes in einen festen Spulenrahmen legen. Wir wollen auch diese Konstruktion nach unseren Formeln durchrechnen. Das gesamte erforderliche Trägheitsmoment war $K = 1{,}84$, und davon komme jetzt etwa der Betrag $K_1 = 1{,}50$ auf Rahmen und Spiegel, sodaß $x = 1 - \frac{K_1}{K} = 0{,}189$ wird. Man erhält dann nach Gl. 49a) $H_0 = 458$, somit für $H = 1500$ $n = 3{,}27$ und $n^2 = 10{,}7$, also nach Gl. 52) $W_0^* = 1{,}95$ Ohm und weiter als Drahtstärke $2\,r = 0{,}146$ *mm* und als Windungszahl $N = 16{,}4$.

Die Windungszahl $N = 16$ erfordert nur *eine* Windungslage, deren Breite $B = N \cdot 2\,r_1$ wird, wo r_1 den Radius des besponnenen Drahtes bedeutet. Nimmt man bei dem dickeren Draht $2\,r_1 = 0{,}4$ *mm* an, so wird $B = 6{,}4$ *mm*.

Die *Empfindlichkeit* erhält man jedesmal nach Gl. 34), in die wir nach Gl. 51) $W = \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)(W_a + W_1)$ einsetzen,

$$P = \sqrt{\frac{T(1-\eta)\left(1-\frac{1}{n^2}\right)}{n\,D\,(W_a + W_1)}}\,. \tag{55}$$

Die Empfindlichkeit ist also bei vorgeschriebenem T, η, W_a nach Festlegung von D und W_1 nur noch von n abhängig. Die bei der angenommenen Aufhängung größtmögliche Empfindlichkeit erhält man für $n = \infty$. Von diesem Grenzwert ist man entfernt um

	1	2	5	10	20	30	50 Proz.
für $n =$	7,1	5,1	3,2	2,3	1,67	1,40	1,15.

Man kann also ziemlich kleine Werte n zulassen, ohne erheblich an Empfindlichkeit zu verlieren. Im übrigen ist die Konstruktion, ob mit oder ohne Rahmen, ob Mather-Spule oder radiales Feld, ob kurze oder lange, schmale oder breite Spule, ob mehr oder weniger dick umsponnener Draht, ob Kupfer oder ein anderes Material, ob geringere oder größere Feldstärke, ganz belanglos und kann nach rein praktischen Gesichtspunkten ausgeführt werden, solange nur die nach Gl. 53) bezw. 36) erforderliche Drahtstärke nicht kleiner wird, als praktisch verwendbar.

Beeinflussung der Drahtstärke. Setzt man in die Formeln 36) und 53) den Wert $W_0 = \frac{W_a + W_1}{n^2 - 1}$ ein und berücksichtigt außerdem den Wert von n, der sich aus Gl. 32) bezw. aus den Gl. 49) und 50) ergiebt, so folgt

A) für Mather-Spulen:
$$r^2 = \frac{H\,T}{n}\sqrt{\frac{\left(1-\frac{1}{n^2}\right)}{2\,(1-\eta)\,(W_a + W_1)}}\sqrt{\frac{x^3\,D\,\varepsilon\,a}{(3\,\pi\,s)^3}}\,, \tag{56}$$

B) bei radialem Feld:
$$r^2 = \frac{H\,x\,(1-\beta)}{4\,\pi^2\,s\,R\left(1+\frac{\Phi\,R}{a}\right)}\sqrt{\frac{T^3\,D\left(1-\frac{1}{n^2}\right)}{\pi\,(1-\eta)\,(W_a + W_1)}}\,. \tag{57}$$

In beiden Fällen ergeben sich kleine Drahtstärken für kleine Werte T und D, sowie für große Werte W_a und W_1. Will man also ein empfindliches Galvanometer für kleine Schwingungsdauer und großen äußeren Widerstand konstruieren, so hat

man zunächst zu sorgen, daß beim Herstellen der kleinen Direktionskraft ihr Widerstand nicht zu groß wird, was ja (nach *S. 252*) auch schon wegen der Empfindlichkeit nötig ist.

Die weiteren Mittel, die Drahtstärke groß zu halten, sind:

1. eine große Feldstärke H,
2. ein großes x, also keine Verschwendung von Trägheitsmoment an tote Teile, keinen Rahmen.

Bei der Mather-Spule ist außerdem die Spulenlänge a groß und die Bespinnung dünn (ε groß) zu machen, bei radialem Feld: der Spulenradius R klein und $\frac{R}{a}$ klein.

Trotzdem bei radialem Feld prinzipiell dünnerer Draht erforderlich ist als für eine Mather-Spule unter sonst gleichen Umständen, so braucht dies praktisch nicht der Fall zu sein, weil im radialen Feld eine größere Feldstärke zulässig ist. Es kann im Gegenteil sogar die Anordnung mit radialem Feld die größere Drahtstärke ergeben. Bei den bis heute angewandten Direktionskräften (bis herab zu 0,189 bei dem unten zu beschreibenden Galvanometer) gelangt man besonders bei den so wichtigen Instrumenten für kleinen äußeren Widerstand im allgemeinen, d. h. für nicht extrem kleine Schwingungsdauern, noch nicht an die untere zulässige Grenze der Drahtstärke, sodaß es im Interesse der Empfindlichkeitserhöhung sehr wünschenswert erscheint, noch wesentlich kleinere Direktionskräfte, deren Widerstand gleichfalls möglichst klein bleibt, zu verwenden.

Windungszahl. Ebenso wie r^2 in den letzten Formeln können wir auch die Windungszahl direkt durch die von vornherein gegebenen Größen ausdrücken. Wir beschränken uns dabei auf die Konstruktion mit radialem Magnetfeld, da hier die Windungszahl insofern besonders wichtig ist, als sie nicht zu groß werden darf, wenn die Spule bei kleinem Radius in engem Schlitz Platz finden soll.

Setzt man in Gl. 54) $W_0 = \frac{W_a + W_1}{n^2 - 1}$ ein und nimmt den Wert

$$n = \frac{H(1-\beta)}{2} \sqrt{\frac{x \sigma 7}{\pi s (1-\eta) \theta}} \tag{58}$$

aus Gl. 49) und 50), so erhält man

$$N = \frac{1}{2 R a H (1-\beta)} \sqrt{\frac{T D (W_a + W_1)(1-\eta)}{\pi \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)}}. \tag{59}$$

Vergleichen wir diese Formel mit Gl. 57), so ergibt sich folgendes Resultat:

Wenn man an irgend einem Modell technisch mögliche Werte für r und N erhält, so lassen sich Galvanometer für gröſsere Schwingungsdauer bei gleichem äuſseren Widerstand mit noch kleinerer Direktionskraft, also gröſserer Empfindlichkeit, ausführen.

Verkleinert man nämlich D und vergrößert T, sodaß

$$\frac{T^2 D}{W_a + W_1} = C \tag{60}$$

konstant bleibt, so bleibt nach Gl. 57) auch r konstant[1]). Wird das Verkleinern von D durch Verkleinern des Querschnittes der Aufhängung bewirkt, wobei die Trag-

[1]) Die Änderung von n können wir vernachlässigen, sobald n^2 groß gegen 1 ist. n^2 wächst mit T, sodaß in Wahrheit r ein wenig größer wird.

fähigkeit, wie oben gezeigt ist, kein Hindernis bildet, so bleibt nach Gl. 12) und 13) $W_1 \sqrt{D} = c$ konstant. Setzt man hiernach $W_1 = \frac{c}{\sqrt{D}}$ in Gl. 60) und daraus

$$T = \sqrt[3]{\frac{C}{D}} \left(W_a + \frac{c}{\sqrt{D}} \right)$$

in Gl. 59) ein, so erhält man in dieser Formel anstelle des Ausdrucks $TD\ (W_a + W_1)$ unter dem Wurzelzeichen: $\sqrt[3]{C(W_a \sqrt{D} + c)^4}$.

Die Windungszahl wird also mit abnehmendem D geringer, sodaß kein Raummangel eintreten kann.

Material des Spulendrahtes. Die Empfindlichkeit ist nach Gl. 55) vom Drahtmaterial nur durch n und nur in geringem Grade abhängig. Einen großen Wert n erzielt man nach Gl. 32) bezw. 58) durch ein Material mit großem $\frac{\sigma}{s}$. Dieser Wert ist bei Silber um etwa 10 Proz. kleiner als bei Kupfer, dagegen bei Aluminium fast doppelt so groß, sodaß dieses Material einen um etwa 40 Proz. größeren Wert n liefert als Kupfer. Der Haupteinfluß des Materials erstreckt sich auf die Drahtstärke. Diese ist nach Gl. 56) und 57) von σ ganz unabhängig und proportional mit $\left(\frac{1}{s}\right)^{3/8}$ bezw. $\frac{1}{\sqrt{s}}$. Für eine Spule in radialem Feld wird daher ein Aluminiumdraht 1,8-mal stärker als ein Kupferdraht. Für Mather-Spulen kommt Aluminium kaum in Betracht wegen der Schwierigkeit, dieses Material eisenfrei zu erhalten. Im übrigen ist, solange die Drahtstärke groß genug bleibt, die Wahl des Drahtmaterials gleichgültig.

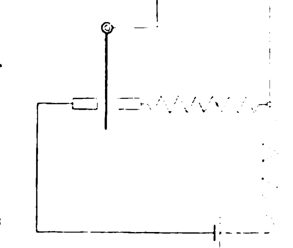
Hilfsdämpfung[1]). Die Annehmlichkeit, auch bei geöffnetem Galvanometerkreis eine stärkere Dämpfung zu haben, muß nach Gl. 55) durch einen Verlust an Empfindlichkeit erkauft werden. Man erhält einen Verlust von

	1	2	5	10	20	30	50 Proz.
für η =	0,02	0,04	0,10	0,19	0,36	0,51	0,75
oder k =	1,06	1,13	1,36	1,84	3,37	6,44	35,2,

wo k das Dämpfungsverhältnis bedeutet ($\Lambda_0 = \log \text{nat } k$). Die Annehmlichkeit besteht in der kurzen Beruhigungszeit[2]) bei geöffnetem Galvanometerkreis. Während nun aber eine kurze Beruhigungszeit sehr wesentlich ist bei der Messung eines Ausschlages und auch des zugehörigen Nullpunktes, so kommt es auf die Beruhigungszeit bei geöffnetem Galvanometerkreis meist weniger an. Denn der Nullpunkt bei offenem Kreis ist durchaus nicht der zu der Messung gehörige, der von den im Galvanometerkreis, vor allem im Galvanometer selbst vorhandenen thermoelektrischen Kräften abhängt. Kann die Messung mit Kommutieren der zu messenden elektromotorischen Kraft geschehen, so ist eine Nullpunktsmessung überhaupt nicht erforderlich. Andernfalls macht man die Nullpunktsmessung am besten so, daß man das Galvanometer unter Ausschaltung der zu messenden elektromotorischen Kraft durch einen dem inneren Widerstand dieser gleichen Drahtwiderstand schließt, etwa unter Verwendung eines zweipoligen (thermokraftfreien) Kontaktmachers in der nebenstehenden Schaltungsskizze. Alsdann ist im offenen Kreis keine Dämpfung erforderlich, sodaß man keine Hilfsdämpfung anzubringen braucht und den hierdurch hervorgerufenen Empfindlichlichkeitsverlust sparen kann. Es bleibt dann nur die Luftdämpfung, die aber

[1]) Vgl. auch *S. 251, Anm. 1.*
[2]) Vgl. *Ann. d. Physik* **9.** *S. 465. 1902, Kurve II.*

meist so gering ist, daß man η praktisch gleich Null setzen kann. Andererseits ist eine gewisse Hilfsdämpfung erwünscht, wenn das Galvanometer mit einem größeren äußeren Widerstande benutzt wird als dem, für den es konstruiert ist. Aber auch dann erzielt man größere Empfindlichkeit, wenn man die Dämpfung durch einen Nebenschluß zum Galvanometer hervorbringt, als wenn man durch den Rahmen oder eine Hilfswindung η vergrößert, wie eine einfache Rechnung zeigt.



Wird das Galvanometer ohne Hilfsdämpfung beim Widerstand W aperiodisch, so muß man ihm den Nebenschluß

$$W_N = W\sqrt{1+\frac{\pi^2}{\Lambda_0^2}} = \frac{W}{\eta}$$

geben, damit es bei geöffnetem Hauptkreis angenähert eine Dämpfung vom Dekrement Λ_0 besitzt. Ein solcher Nebenschluß kann in das Galvanometer eingebaut werden, sollte aber für empfindlichste Messungen abschaltbar sein. Es ist dies viel zweckmäßiger und in bezug auf Empfindlichkeit vorteilhafter als das übliche Verfahren, durch den Rahmen oder besondere Spulenwindungen eine Hilfsdämpfung herzustellen. Dazu hat man den besonderen Vorteil, die Hilfsdämpfung durch Verändern des Nebenschlußwiderstandes beliebig regulieren zu können.

Astasierung[1]). Wenn an einem Drehspulgalvanometer eine Astasierungsvorrichtung angebracht ist, so tritt beim Verändern der Astasierung gleichzeitig eine Änderung der Direktionskraft, der Schwingungsdauer, der Hilfsdämpfung, des aperiodischen Grenzwiderstandes und der Empfindlichkeit ein. Ohne Astasierung seien die betreffenden Größen durch D_0, T_0, η_0, w_0, S_0 und P_0 bezeichnet. Bei ν-facher Astasierung gilt dann

$$D = \frac{D_0}{\nu},$$

und man erhält durch Einsetzen dieses Wertes in die Gleichungen 4), 11), 8), 9) und 10) das Schema III

$$D = \frac{D_0}{\nu} \qquad W = w_0\sqrt{\nu}\,\frac{1-\eta_0}{1-\eta_0\sqrt{\nu}}$$

$$T = T_0\sqrt{\nu} \qquad S = S_0\,\nu$$

$$\eta = \eta_0\sqrt{\nu} \qquad P = P_0\sqrt{\nu}\,\frac{1-\eta_0\sqrt{\nu}}{1-\eta_0}.$$

Beim Astasieren wächst also der aperiodische Grenzwiderstand und die Spannungsempfindlichkeit (im aperiodischen Grenzzustande genommen) nahe proportional mit der Schwingungsdauer, dagegen die Stromempfindlichkeit wie bei Nadelgalvanometern mit dem Quadrat der Schwingungsdauer.

Da mit dem aperiodischen Grenzwiderstand der zur Verfügung stehende äußere Widerstand wächst, was natürlich gleichfalls einen Vorteil bei Spannungsmessungen bedeutet, wird man zweckmäßig solche Drehspul-Galvanometer, die eine Astasierungsvorrichtung erhalten, von vornherein für einen kleinen Wert W_a konstruieren. Dies wirkt nach den Gl. 57) und 59) im Sinne einer Vergrößerung der Drahtstärke und Verkleinerung der Windungszahl.

Daß man für das unastasierte Galvanometer auch eine kleine Schwingungsdauer zugrunde legen wird, wirkt dagegen verkleinernd auf die Drahtstärke und ebenso auf die Windungszahl.

---

[1]) Vgl. auch *S. 251.*

Beschreibung einer von der Firma Siemens & Halske ausgeführten Neukonstruktion.

In der Erkenntnis, daß die Empfindlichkeitserhöhung von Drehspul-Galvanometern auf der Verwendung kleiner Direktionskräfte beruht, hat sich die Firma Siemens & Halske A.-G. in Berlin-Nonnendamm der dankenswerten Aufgabe unterzogen, ein Instrument mit beträchtlich kleinerer Direktionskraft herzustellen, als bisher üblich war. Während bei dem von Jaeger 1908 beschriebenen, von derselben Firma ausgeführten Instrument $D = 0{,}6$ betrug, ist bei dem neuen die Direktionskraft auf den Wert $D = 0{,}189$ gebracht. Eine Hilfsdämpfung ist nicht vorgesehen, sodaß bei der Kleinheit der Luftdämpfung $\eta = 0$ gesetzt werden kann. Die (ganze) ungedämpfte Schwingungsdauer ist $T = 4$ Sek., der zur Aperiodizität erforderliche äußere Widerstand $W_a{}^* = 133$ Ohm, der Widerstand der Zuleitung $W_1{}^* = 23$ Ohm, der Spulenwiderstand $W_0{}^* = 24$ Ohm, also der aperiodische Grenzwiderstand $W^* = 180$ Ohm. Diesen Daten entspricht die Spannungsempfindlichkeit $P = 6{,}1 \cdot 10^{-6}$ oder der Voltausschlag $P^* = 1{,}22 \cdot 10^6$, d. h. eine elektromotorische Kraft von 10^{-6} Volt gibt an einer 1 *m* entfernten Skale einen Ausschlag von 1,22 *mm*.

Der Ampere-Ausschlag ist $S^* = 2{,}20 \cdot 10^8$, d. h. ein Strom von 10^{-8} Amp. gibt an einer um 1 *m* entfernten Skale einen Ausschlag von 2,20 *mm*.

Das Instrument ist bereits empfindlicher als das von du Bois und Rubens[1]) angegebene Kugel-Panzergalvanometer mit dem schwereren Magnetsystem bei derselben Schwingungsdauer, welches etwa die gleiche Spiegelgröße besitzt (8 *mm*). Wenn man bei diesem, wie es am günstigsten ist, den inneren gleich dem äußeren Widerstand W_a macht, so wird der Volt-Ausschlag

$$P^* = \frac{C T^2}{\sqrt{W_a{}^*}}, \quad \text{wo} \quad C = 0{,}4 \cdot 10^6, \qquad 61)$$

und der Ampere-Ausschlag

$$S^* = 2 C T^2 \sqrt{W_a{}^*}. \qquad 62)$$

Für $W_a{}^* = 133$ Ohm und $T = 4$ Sek. liefert die Formel 61) $P^* = 0{,}55 \cdot 10^6$, also nicht die halbe Empfindlichkeit des Drehspulinstrumentes. Würde dieses mit der gleichen Direktionskraft für größere Schwingungsdauern konstruiert sein, so würde sich allerdings das Verhältnis von $T = 6{,}7$ Sek. an umkehren, weil die Empfindlichkeit des Kugelpanzergalvanometers mit T^2, die des Drehspulinstrumentes nur mit $\sqrt{T}$ wächst.

Das Modell ist von der Firma völlig anders ausgebildet als das ihrer bekannten Instrumente. Das ganze Galvanometer hat nur eine Höhe von 22 *cm* und ein Gewicht von 1100 Gramm und ist daher bequem in einem beigefügten Transportkasten zu tragen. Es läßt sich ebenso wie die älteren Instrumente ohne weiteres auf jedem festen Tische aufstellen und mit Hilfe einer Libelle einrichten. Der Nullpunkt steht nicht so völlig ruhig wie bei den älteren Modellen, aber doch für Fernrohrablesungen ausreichend. Eine Juliussche Aufhängung ist keineswegs nötig.

Aus den angegebenen Daten folgt $n^2 = \frac{W}{W_0} = 7{,}5$, also $n = 2{,}74$. Für die Spulendimensionen gilt ungefähr $R = 0{,}45$, $a = 3{,}5$, $\beta = 0{,}1$.

Dann wird nach Gl. 46) und 47) $\Phi = 1{,}16$ und $\Theta = 1{,}36$. Wegen des zu erwartenden dünneren Drahtdurchmessers, also relativ höheren Bespinnungsgewichtes, setzen wir $s = 9{,}5$ und erhalten damit aus

Gl. 49a) $H_0 = \frac{294}{\sqrt{\varkappa}}$ und daher $H = n H_0 = \frac{805}{\sqrt{\varkappa}}$.

---

[1]) H. du Bois und H. Rubens, *diese Zeitschr.* **20.** S. 65. 1900.

Die Feldstärke selbst und ebenso x konnte an dem fertigen Instrument nicht bestimmt werden, jedenfalls aber ist $H > 805$. Da man nach der ganzen Konstruktion des Instrumentes erwarten kann, daß die Feldstärke geringer ist als bei den früheren Modellen, wo sie etwa 1500 *C.G.S.* betrug, und da die Spule zwar ohne Rahmen gewickelt ist, aber doch einige feste Teile von merklichem Trägheitsmoment besitzt, sodaß x etwas von 1 verschieden ist, so nehmen wir an $H = 1000$ *C.G.S.* und dementsprechend $H_0 = 365$ und $x = 0{,}805^2 = 0{,}65$.

Mit diesem Wert finden wir nach Gl. 53a) $2r = 0{,}077$ *mm* und nach 54a) $N = 74$ Windungen.

Würde das Galvanometer zu dem früheren Magnetmodell mit größerem R konstruiert sein, welches den ersten Zahlenbeispielen zugrunde gelegt ist, so hätte man für den gleichen Wert $x = 0{,}65$ trotz der $1^1/_2$-fachen Feldstärke $H = 1500$ einen noch dünneren Draht erhalten, nämlich $2r = 0{,}052$ *mm* und die Windungszahl $N = 18$.

Würde das neue Modell mit $H = 1000$, $x = 0{,}65$, $T = 4$ Sek., $\eta = 0$, $D = 0{,}189$, $W_1{*} = 23$ Ohm für den äußeren Widerstand $W_a{*} = 10$ Ohm konstruiert sein, so bliebe $H_0 = 365$, weil diese Grenze nach Gl. 49) unabhängig von W_a ist, und damit bliebe auch $n^2 = 7{,}5$. Es würde also der Spulenwiderstand $W_0{*} = \frac{W_a{*} + W_1{*}}{n^2 - 1} = 5{,}08$ Ohm und $W{*} = 38{,}08$ Ohm. Hiermit erhielte man eine beträchtlich größere Drahtstärke: $2r = 0{,}113$, und eine kleinere Windungszahl: $N = 34$.

Nach Gl. 34) erhielte man die Spannungsempfindlichkeit $P = 1{,}33 \cdot 10^{-5}$, also den Volt-Ausschlag: $P{*} = 2 \cdot 10^{11}\, P = 2{,}66 \cdot 10^6$ und den Ampere-Ausschlag $S{*} = 1{,}01 \cdot 10^8$.

Das Instrument würde sehr geeignet sein für stärkere Astasierungen. Mit 9-facher Astasierung würde nach Schema III die (ganze) Schwingungsdauer 12 Sek., der aperiodische Grenzwiderstand $W{*} = 114{,}2$ Ohm, also der zur Verfügung stehende äußere Widerstand $W_a{*} = 114{,}2 - 23 - 5{,}08 = 86{,}1$ Ohm, der Volt-Ausschlag $P{*} = 8{,}0 \cdot 10^6$ und der Ampere-Ausschlag $S{*} = 9{,}1 \cdot 10^8$.

Das Kugelpanzergalvanometer mit $T = 12$ Sek. und $W_a{*} = 86{,}1$ Ohm würde nach Gl. 61) den Volt-Ausschlag $P{*} = 6{,}2 \cdot 10^6$ und nach Gl. 62) den Ampere-Ausschlag $S{*} = 10{,}7 \cdot 10^8$ ergeben. Für Spannungsmessungen würde also das Drehspulinstrument empfindlicher sein.

Zusammenfassung.

1. Es werden die bekannten allgemeinen Formeln für Rechnungen an Drehspulgalvanometern zusammengestellt. [Gl. 1) bis 11), Schema I und II.]

2. Es wird die folgende Aufgabe gestellt: Ein Drehspulgalvanometer soll vorgeschriebene Schwingungsdauer und Dämpfung im offenen Kreis haben, bei einem gegebenen äußeren Widerstand aperiodisch werden und im Grenzzustande möglichst große Spannungsempfindlichkeit besitzen. Es sind sämtliche Konstruktionsdetails zu berechnen.

3. Je kleiner die Direktionskraft, desto größer ist die Empfindlichkeit. Es wird daher eine bestimmte Direktionskraft als praktisch gegeben zugrunde gelegt.

4. Die Bedeutung der Matherschen Spulenform wird dahin präzisiert, daß sie erlaubt, den Spulendraht möglichst dick zu halten.

5. Die Berechnung der Mather-Spulen-Galvanometer nebst einem Zahlenbeispiel wird vollständig durchgeführt.

6. Bei Galvanometern mit Mather-Spulen treten infolge der Magnetisierbarkeit des Spulenmaterials magnetische Richtkräfte auf, die wegen der Hysterese zu Nullpunktsstörungen Veranlassung geben können. Diese Störungen treten nicht auf bei der Konstruktion mit radialem Magnetfeld (Spule um einen Eisenkern beweglich),

sodaß hier höhere Feldstärken angewandt werden dürfen, die den Vorteil der Mather-Spule wettmachen können.

7. Die Berechnung der Spulen für radiales Magnetfeld nebst Zahlenbeispiel wird vollständig durchgeführt.

8. Die Feldstärke muß oberhalb einer unteren Grenze liegen, die von der zugrunde gelegten Direktionskraft und dem vorgeschriebenen äußeren Widerstand unabhängig und der Wurzel aus der Schwingungsdauer umgekehrt proportional ist.

9. Der aperiodische Grenzwiderstand verhält sich zum Spulenwiderstand wie das Quadrat der Feldstärke zum Quadrat ihrer unteren Grenze.

10. Die Wahl der Spulenform und Dimensionen, eines Rahmens für die Spule, des Drahtmaterials (Eisenfreiheit vorausgesetzt), der Umspinnung ist gleichgültig, solange die Berechnung praktisch herstellbare Drahtstärken ergibt.

11. Der Einfluß der einzelnen Bestimmungsstücke auf die Drahtstärke und die Windungszahl wird diskutiert.

12. Eine Hilfsdämpfung soll nicht durch den Rahmen oder besondere Spulenwindungen, sondern durch einen abschaltbaren Nebenschluß zum Galvanometer bewirkt werden.

13. Die Astasierung nach dem Verfahren von Reinganum ist zu empfehlen; die Galvanometer sollten mit einer besonderen Vorrichtung dazu ausgerüstet sein.

14. Ein von der Firma Siemens & Halske A.-G. in Berlin ausgeführtes Drehspul-Galvanometer mit sehr kleiner Direktionskraft, also großer Empfindlichkeit, und von nur 1,1 *kg* Gesamtgewicht wird beschrieben, und andere Ausführungsmöglichkeiten desselben Modells werden besprochen.

Referate.

Ein reduzierendes Doppelbild-Tachymeter.

Von F. Aubell. *Österr. Zeitschr. f. Vermess.* **8.** *S. 35, 67, 118, 145, 197, 231. 1910.*

Der Verf. schickt eine Einteilung der „Entfernungsmesser" überhaupt voraus, wobei er die zwei Hauptklassen der „basisführenden" und der „winkelführenden" Entfernungsmesser unterscheidet; der ersten Klasse sollen gleichwertig sein die „Entfernungsmesser ohne Latte" (die man wohl am besten als Telemeter bezeichnet), der zweiten die „Entfernungsmesser mit Latte". Die Einteilung ist aber nicht ganz durchgreifend; und die den zwei Klassen als gleichwertig vorgeschlagene Unterscheidung „parallaktischer" und „diastimometrischer" Entfernungsmesser geht jedenfalls nicht an, denn Parallaxendistanzmesser sind *alle* die Vorrichtungen, die der Verf. bespricht.

In der zweiten Klasse, bei den „winkelführenden" Entfernungsmessern wird dann weiter eingeteilt nach der Art der Herstellung des zur Entfernungsmessung verwendeten mikrometrischen Winkels am Instrument: „optische" Entfernungsmesser im eigentlichen Sinn (1. Gruppe) will der Verf. solche Konstruktionen nennen, bei denen eine bestimmte Fernrohrkonstruktion den diastimometrischen Winkel liefert (zwei Arten: Fadendistanzmesser und Doppelbilddistanzmesser im engern Sinn), während der Name Kippdistanzmesser (2. Gruppe den Konstruktionen gegeben werden soll, bei denen zwei Fernrohreinstellungen angewandt werden, zwischen denen die Neigung der Ziellinie um einen kleinen Betrag aufwärts oder abwärts verändert wird.

Der Verf. bespricht sodann im III. Abschnitt die bisherigen Konstruktionen von Doppelbildentfernungsmessern auf dioptrischer und katoptrischer Grundlage, um erst im IV. auf sein eigenes Doppelbildtachymeter im Sinn eines selbst reduzierenden Instruments überzugehen. Es hat ein nach dem Prinzip des Bouguerschen Heliometers eingerichtetes Fern-

rohr, in dem das Objektiv halbiert ist und die zwei Objektivhälften gegen einander verschoben sind. Indessen handelt es sich nicht, wie beim Heliometer, um Schraubenmessung dieser veränderlichen Verschiebung, vielmehr ist hier diese Verschiebung konstant; die zwei um einen konstanten Betrag gegen einander verschobenen Objektivhälften sind unveränderlich miteinander verbunden, um einen *konstanten* Mikrometerwinkel scharf zu liefern. Der Messungsvorgang hat also nicht die Beobachtung eines mit der Entfernung der Latte veränderlichen Winkels zum Ziel, sondern die Bestimmung eines mit der Entfernung sich ändernden Lattenabschnitts. Für die Doppelobjektiv-Konstruktion ist ebensogut wie für die übrigen „winkelführenden“ Entfernungsmesser ein „anallaktischer“ Punkt vorhanden, von dem aus, bei horizontaler Zielung, die Entfernungen bis zur Latte dem Lattenabschnitt proportional sind. Bei dem Fernrohr des Verf. sind die zwei Objektivhälften um $^1/_{100}$ der Brennweite vertikal gegen einander verschoben, das linke Halbobjektiv höher als das rechte; auch horizontal sind die zwei Objektivhälften etwas auseinander gerückt, um $^1/_{200}$ der Brennweite, damit nicht die zwei Lattenbilder an derselben Stelle des Gesichtsfelds erscheinen und sich gegenseitig stören. Der anallaktische Punkt des Fernrohrs wird nun als erster Hauptpunkt des rechten Halbobjektivs nachgewiesen; damit ist auch die Additionskonstante des entfernungsmessenden Fernrohrs klein, beim Fernrohr des Verf. z. B. rund 0,1 *m*, sodaß sie in der Regel ganz wird vernachlässigt werden können. Bei dem neuen Instrument ist der „Höhenkreis nach der unteren Visur justiert“; ist μ der konstante mikrometrische Winkel, $C = \operatorname{cotg} \mu$, α der der unteren Visur entsprechende Höhenwinkel und L der abgelesene Lattenabschnitt, so wird Horizontaldistanz E vom Mittelpunkt des Instruments bis zur Latte und Höhenunterschied h zwischen Kippachse und unterem Lattenpunkt aus folgenden Gleichungen erhalten:

$$\left.\begin{aligned} E &= (C \cdot L + c) \cos^2 \alpha \,(1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \mu) \\ h &= (C \cdot L + c) \sin \alpha \cos \alpha \,(1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \mu). \end{aligned}\right\} \quad 1)$$

Setzt man

$$L' = \frac{C \cdot L + c}{100} \quad \text{oder wegen} \quad c = 0{,}1$$

$$L' = \left(L + \frac{1}{1000}\right) \cdot \frac{C}{100} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \mu = \frac{1}{100}, \quad 2)$$

so wird

$$\left.\begin{aligned} E &= 100\, L' \cos^2 \alpha \left(1 - \frac{1}{100} \operatorname{tg} \alpha\right) \\ h &= 100\, L' \sin \alpha \cos \alpha \left(1 - \frac{1}{100} \operatorname{tg} \alpha\right). \end{aligned}\right| \quad 3)$$

Die Gleichungen sind also etwas weniger einfach gebaut als beim gewöhnlichen Fadendistanzmesser.

Das Instrument, nach den Angaben von Aubell von R. & A. Rost in Wien ausgeführt, unterscheidet sich von einem Universal nur im Fernrohr; Horizontalkreis 13 *cm*, Teilung $^1/_3{}^0$, durch zwei Skalenmikroskope nach Bedarf 1′ oder 0,1′; Höhenkreis 11 *cm*, Teilung in $^1/_6{}^0$, durch zwei Nonien 20″. Die sehr enge Teilung des Höhenkreises ist gewählt, damit man auch durch *Schätzung* am Noniusnullpunkt des Höhenkreises nach Wunsch oder Bedarf unmittelbar auf 1′ ablesen kann (das ließe sich aber auch bei $^1/_3{}^0$-Teilung ebensogut machen; die Teilstriche, die sich bei $^1/_6{}^0$-Teilung in 0,16 *mm* Entfernung folgen, hätten bei $^1/_3{}^0$-Teilung wenigstens nahe 0,32 *mm* Abstand, und hieran ist viel leichter zu schätzen). Die Öffnung des bisezierten Fernrohrobjektivs ist 37 *mm* (sehr groß, damit auch durch die *halbe* Objektivfläche die Helligkeit des Bildes genügend wird), die Brennweite 200 *mm*, die Vergrößerung 24 durch ein orthoskopisches Okular. Die Halbobjektive in der Vertikalverschiebung von $^1/_{100}$ der Brennweite = 2,00 *mm* müssen sehr gut fest gegen einander bleiben; der Verf. glaubt, daß bei seiner Anordnung die Beständigkeit der Multiplikationskonstanten sicherer verbürgt sei als bei den Fadendistanzmessern, ja es scheint, das ihn diese Überlegung überhaupt zu dem Versuch der neuen Konstruktion geführt hat. Für die Konstanten seiner jetzigen Ausführung des Instruments findet der Verf. $C_{\mu} = 99{,}62$ (statt 100) $\pm$ 0,02, c genügend

$= 0{,}1\,m$. Die Anordnung, daß das Objektiv um meßbare Winkel gedreht werden kann, bietet die Möglichkeit, die Hauptkonstante (Vertikalhauptkonstante) genau auf 100 abzustimmen.

Der letzte Abschnitt behandelt das Doppelbildtachymeter als selbsttätiges Reduktionsinstrument für horizontale Entfernung und Höhenunterschied, weist übrigens nach allgemeinen Bemerkungen über die bisher konstruierten „Reduktionstachymeter" (Kontakttachymeter, Schiebetachymeter und Tachymeter mit „reduzierenden" Fernrohrkonstruktionen) für das neue Instrument nur die *Möglichkeit* der Einrichtung zur unmittelbaren Ablesung von Horizontaldistanz und Höhenunterschied nach, ohne daß die Einrichtungen am Instrument bereits durchgeführt wären; es wird hier noch große Schwierigkeiten zu überwinden geben. Es können deshalb selbstverständlich auch Versuchsmessungen mit einem wirklich dem Titel der Arbeit des Verf. entsprechenden Instrument nicht mitgeteilt werden; hierauf käme es aber gerade an.

Hoffentlich wird der Verf. der vorliegenden interessanten Studie über das Doppelbildtachymeter bald in der Lage sein, über die Vervollständigung des Instruments in der von ihm angestrebten Richtung und über Versuchsmessungen zu berichten. Der Ref. glaubt allerdings nicht, daß es dem nach dem Heliometerprinzip eingerichteten Doppelbild-Entfernungsmesser in irgend einer Form, reduzierend oder nicht, beschieden sein wird, das gewöhnliche „entfernungsmessende Fernrohr" mit festen Fäden in nennenswertem Umfang zu verdrängen.

Hammer.

Theorie der Quecksilber-Kompensation in den Pendeln astronomischer Uhren.

Von H. Stroele. *Bull. Soc. Neuchâteloise des Sciences naturelles* **37.** *S. 209—309. 1910.*

Im ersten Kapitel dieser sehr verdienstvollen Arbeit führt Verf. die bisher gebräuchlichen Formeln zur Berechnung der zur Kompensation eines Quecksilberpendels nötigen Quecksilbermenge auf, wobei er insbesondere über eine noch bis zum heutigen Tage „in vielen ausgezeichneten Werken" immer wiederkehrende total unsinnige, auf einem groben Überlegungsfehler beruhende Formel ($h = \frac{1}{r}\sqrt{\frac{2\,l\,\alpha}{\pi\,\varepsilon}}$, wo h die Höhe der Quecksilbersäule r den Radius des Quecksilbergefäßes, l die reduzierte Pendellänge, α den Ausdehnungskoeffizienten der Stange und ε den „scheinbaren Ausdehnungskoeffizienten" des Quecksilbers bedeutet) ein scharfes, aber immer noch vielleicht zu mildes Urteil fällt; daß ein solches kritikloses Abschreiben einer Formel, auf deren Fehlerhaftigkeit schon Lorenzoni 1879 aufmerksam gemacht hat, noch bis in die neueste Zeit geübt wird, stellt der „wissenschaftlichen" Uhrmacherei kein rühmliches Zeugnis aus. Nach Besprechung einiger gut brauchbarer Näherungsformeln (von Keelhoff, Lorenzoni und dem Verf. selbst) wird im zweiten Kapitel zur strengen Kompensationsrechnung übergegangen und, ausgehend von einer Arbeit des Ref. (*Astron. Nachr. Nr. 3967/68. 1904*), gezeigt, daß die strenge Rechnung sich sehr bequem gestalten läßt, sodaß eine Näherungsrechnung eigentlich ganz überflüssig ist. Die Anwendung dieser strengen Formel wird nicht nur auf bereits bekannte Pendeltypen ausgedehnt, sondern es werden noch einige interessante neue Formen mit z. T. kugelförmigem Quecksilbergefäß durchgerechnet, wobei Verf. auch auf das Problem eingeht, ein Pendel mit einem Minimum von Quecksilber zu kompensieren. Im dritten Kapitel wird der Einfluß der Temperaturschichtung untersucht und statt der strengen vom Ref. (*a. a. O.*) entwickelten Theorie eine Näherungsmethode abgeleitet, die für die Rechnung viel bequemer ist, ohne eine praktisch bedeutsame Einbuße an Genauigkeit zur Folge zu haben. Während der Ref. nachgewiesen hatte, daß sich mit Stahl und Quecksilber in zylindrischem Gefäß kein brauchbares Pendel herstellen läßt, das außer für Temperatur auch für Temperaturschichtung kompensiert wäre, weist Verf. die interessante Möglichkeit nach, durch Aufgeben dieser einfacheren Form ein Pendel zu konstruieren, das jenen Anforderungen genügt. Dieses Pendel kann man sich aus dem Rieflerschen Quecksilberpendel dadurch entstanden denken, daß das Rieflersche Quecksilberrohr in der Mitte der reduzierten Pendellänge in ein weiteres Quecksilbergefäß mündet; in dieses Gefäß taucht sodann wie beim Gefäßbarometer ein zweites, unten offenes,

oben in ein kugelförmiges, völlig mit Quecksilber gefülltes Gefäß endigendes Rohr von gleicher Weite wie das untere. Im vierten Kapitel wird der Einfluß der umgebenden Luft auf den Temperaturkoeffizienten im Anschluß an die Arbeiten von C. Wolf untersucht und der Nachweis geführt, daß dieser Einfluß praktisch sehr merklich und namentlich insofern von großer Bedeutung ist, als ein in freier Luft kompensiertes Pendel in hermetisch abgeschlossenem Raum einen sehr merklichen Temperaturkoeffizienten zeigen muß und umgekehrt. Die schöne Arbeit schließt mit einer kurzen Zusammenstellung der Hauptresultate und einem Literaturverzeichnis. *B. Wanach.*

Zeitgebung durch drahtlose Telegraphie.

Von B. Baillaud. *Rapport annuel sur l'état de l'observatoire de Paris pour l'année 1910. S. 23. Paris 1911.*

Einige neue Anwendungen der drahtlosen Telegraphie.

Von Ferrié. *Journ. de phys. 1. S. 178. 1911.*

Diese beiden Veröffentlichungen geben eine Beschreibung der Einrichtungen, die getroffen worden sind, um mittels der Eiffel-Turm-Station funkentelegraphische Zeitsignale abzugeben. Sie umfassen zwei Gruppen von Apparaten, diejenigen der Sternwarte Paris und diejenigen der funkentelegraphischen Militärstation des Eiffel-Turms.

Auf der Sternwarte sind zwei gleiche Pendeluhren von Leroy mit Nickelstahlpendel aufgestellt, deren jede zur automatischen Abgabe der Zeitsignale auf folgende Weise eingerichtet ist. An isolierten, mit dem Gehäuse fest verschraubten Metallstücken sind zwei parallel zueinander verlaufende Blattfedern mit ihrem einen Ende befestigt. In der Nähe des anderen, freien Endes tragen sie zwei sich in geringem Abstande gegenüberstehende Kontaktplatten aus Platin. Ferner hat die eine Feder einen Vorsprung, der einer auf dem Sekundenrade der Uhr montierten Scheibe gegenüber steht. Diese Scheibe trägt einen Zahn, der bei jedem Umlaufe des Rades einmal gegen den Vorsprung der Feder drückt, wodurch die Feder an die andere Feder angedrückt und der Kontakt geschlossen wird. Der Zahn auf dem Sekundenrade ist so angeordnet, daß der Stromschluß gerade zur Sekunde Null erfolgt. Damit jedoch nicht zu jeder vollen Minute der Strom geschlossen wird, sind die beiden Federn für gewöhnlich durch zwei auf einem langen Hebel befestigte Stifte aus ihrer Ruhelage zur Seite gebogen, sodaß der Zahn des Sekundenrades an dem Federvorsprung vorbeigehen kann, ohne ihn zu berühren und ohne daher einen Kontaktschluß herbeizuführen.

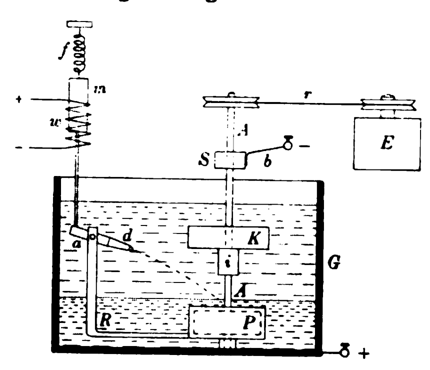
Der lange Hebel trägt zwei Zähne, die zwei Scheiben gegenüber stehen, von denen die eine auf dem Minutenrade, die andere auf einem Tagesrade (eine Umdrehung in 24 Stunden) befestigt ist. Diese Scheiben haben Kerben, in die sich die Zähne des Hebels einlegen können, und zwar entsprechen die drei Kerben des Minutenrades den Minuten 0, 2 und 4, die beiden des Tagesrades den Stunden 11^h vormittags und Mitternacht. Für gewöhnlich schleifen entweder die beiden Zähne des Hebels oder wenigstens einer von ihnen auf dem Umfang der zugehörigen Scheibe, sodaß der Hebel nicht einfallen kann und durch die Stifte, die er an seinem Ende trägt, auch die Blattfedern aus ihrer Ruhelage zur Seite gebogen erhält. Zu denjenigen Zeiten jedoch, wo die beiden Zähne des Hebels sich gleichzeitig Einkerbungen der beiden Scheiben gegenüber befinden, kann der Hebel einfallen. Er gibt alsdann die beiden Blattfedern frei, und durch das Sekundenrad wird nun zur Sekunde Null der Kontakt geschlossen. Nach der Anordnung der Kerben auf dem Minuten- und dem Tagesrade tritt dieser Fall nur 0, 2 und 4 Minuten nach Mitternacht und 11^h vorm. ein, sodaß $0^h\,0^m\,0^s$, $0^h\,2^m\,0^s$, $0^h\,4^m\,0^s$ und $11^h\,0^m\,0^s$, $11^h\,2^m\,0^s$, $11^h\,4^m\,0^s$ die Signalzeiten sind. Der durch die Federn geschlossene Strom wird durch eine Telephonleitung nach dem Eiffel-Turm geleitet und löst dort in der weiter unten beschriebenen Weise die Funkenstrecke aus.

Um schnell den Stand der Uhren korrigieren zu können, was vor Abgabe der Signale erforderlich ist, da die Signale das Zehntel der Sekunde richtig anzeigen sollen, befindet sich an der Pendelstange ein Stabmagnet, der über einer feststehenden Spulenwicklung schwingt. Ein Umschalter gestattet, dem Stabmagneten entweder einen gleichnamigen oder einen un-

gleichnamigen Pol gegenüberzustellen. Im ersteren Falle tritt eine Beschleunigung des Uhrgangs ein, im zweiten ein Zurückbleiben. Ein Strom von 1 Amp. Stärke ruft in 6 Minuten eine Standänderung von 1ˢ hervor.

Vor den automatischen Signalen werden Ankündigungssignale von Hand gegeben, und zwar von der Form — — — vor der Minute Null, von der Form —·· —·· —·· vor der Minute zwei und von der Form —···· —···· —···· vor der Minute vier. Sie werden jedesmal 55ˢ lang abgegeben und hören 5ˢ vor dem eigentlichen Zeitsignal auf.

Die ankommenden Ströme betätigen auf der funkentelegraphischen Station ein Relais, das den Strom einer kleinen Akkumulatorenbatterie schließt, der durch die Wicklungen *w* eines Elektromagneten geht und dadurch ein Schwachstrom-Starkstrom-Relais in Tätigkeit setzt (vgl. die Figur). Dieses Relais besteht aus einem gußeisernen Gefäß *G*, das halb mit Quecksilber und halb mit 95-prozentigem Alkohol gefüllt ist. In dem Gefäß läuft eine Achse *AA*, die durch einen Elektromotor *E* mittels zweier Nutenräder und des Riemens *r* in schnelle Rotation versetzt wird. Die Achse ist durch ein Isolierstück *i* in zwei Teile geteilt, der untere trägt eine Rotationspumpe *P*, der obere eine Kupferscheibe *K* und einen Schleifring *S*, dem der Strom durch eine Bürste *b* zugeführt wird, die mit dem einen Pol des Erregerstromkreises verbunden ist. Durch die Pumpe wird das Quecksilber in das Rohr *R* und den drehbaren Arm *a* gedrückt, aus dem es durch die Düse *d* in einem Strahl wieder in das Gefäß zurückgelangt. Der andere Pol des Erregerstromkreises ist an das Gefäß *G* angelegt. Der an der Spiralfeder *f* hängende Kern *m* des Elektromagneten stützt sich mit seinem Verlängerungsstück auf das der Düse gegenüber liegende Ende des Armes *a*. Der Vorgang bei der Signalgebung ist nun folgender: die von der Sternwarte kommenden Ströme erregen das Feld der Wickelung *w*, dadurch wird der Kern *m* in die Wickelung hineingezogen und drückt das eine Ende des Armes *a* nach unten. Das andere Ende dieses Armes, das als Düse ausgebildet ist, wird dadurch angehoben, und der aus der Düse ausströmende Quecksilberstrahl trifft die Kupferscheibe *K*. Dadurch ist der Erregerstromkreis geschlossen, denn der Strom kann aus dem Gefäß *G* durch den Strahl, die Scheibe *K* und die Achse *A* zu der Bürste *b* gelangen. Sobald der von der Sternwarte kommende Strom aufhört, wird der Kern *m* von der Feder *f* wieder in die Höhe gezogen und das Düsenende des Armes *a* fällt herunter, sodaß der Quecksilberstrahl nicht mehr die Scheibe *K* treffen kann.



Durch den Erregerstromkreis werden in der üblichen Weise mittels Funkenstrecke und Antenne die in den Raum ausstrahlenden Hertzschen elektrischen Wellen erzeugt. Die Dauer eines einzelnen Zeitsignals beträgt $^1/_5$ Sek.

Auf der Sternwarte ist eine kleine Empfängerstation eingerichtet, die es dem diensthabenden Beamten ermöglicht, die funkentelegraphischen Zeitsignale selbst abzuhören und sich auf diese Weise unmittelbar von dem richtigen Arbeiten der Apparate zu überzeugen.

Unzutreffend ist in dem Aufsatze von Ferrié die Behauptung, daß die Zeitsignale des Eiffel-Turms die ersten funkentelegraphischen Zeitsignale größeren Stiles seien. Die vom Kaiserlichen Observatorium in Wilhelmshaven mittels der Großstation Norddeich abgegebenen Zeitsignale haben vor denen des Eiffel-Turms begonnen.

Dem Ref. scheint es, daß die drei einzelnen Signale in Abständen von je 2 Min. weniger leicht aufzufassen und mit den Chronometern an Bord zu vergleichen sind, als die Reihen von je 5 Zeitsignalen in Abständen von je einer Sekunde, wie sie von Norddeich aus gegeben werden. Dazu kommt, daß sie leicht mit atmosphärischen Störungen verwechselt werden können, weil sie für gewöhnlich nicht mit tönenden, sondern mit gewöhnlichen Funken gegeben werden.

Sodann wird von einer geodätischen Längenbestimmung zwischen Paris und Biserta berichtet, die mittels funkentelegraphischer Zeitübermittlung in beiden Richtungen und Uhrenvergleichung nach der von Guyou angegebenen Koinzidenzmethode ausgeführt werden soll unter Benutzung des von Claude, Ferrié und Driencourt angegebenen Kontaktpendels (s. *diese Zeitschr.* **30.** *S. 161. 1910*).

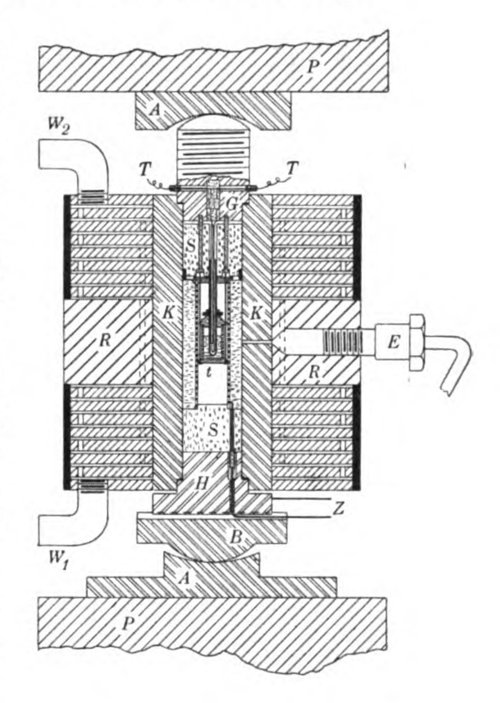
Den Schluß bilden Angaben über den Austausch funkentelegraphischer Depeschen zwischen dem Eiffel-Turm und dem lenkbaren Luftschiff Clément-Bayard, wobei der Eiffel-Turm noch auf eine Entfernung von 110 *km* bei einem Energieverbrauch des Luftschiffs von nur 40 bis 50 Watt ohne Schwierigkeit empfangen hat. Umgekehrt war der Empfang schwierig. Es erklärt sich dies daraus, daß die von einer am Boden befindlichen Station ausgehenden Wellen sich vorzugsweise längs des Erdbodens ausbreiten, sodaß die aufzufangende Energiemenge sehr rasch mit der Höhe der auffangenden Station über dem Erdboden abnimmt. Die vom Luftschiff ausgehenden Wellen breiten sich dagegen gleichmäßig nach allen Seiten hin aus.

E. Kohlschütter.

Der Einfluß des Druckes auf den Schmelzpunkt einiger Metalle.

Von J. Johnston und L. H. Adams. *Amer. Journ. of Science* **31.** *S. 501. 1911.*

In dieser Arbeit sind die Schmelzpunkte von Zinn, Wismut, Kadmium und Blei bei Drucken bis zu 2000 Atm. mit einem Kupfer-Konstantan-Thermoelement gemessen worden. Die Drucke wurden mit einer hydraulischen Pumpe erzeugt und durch ein hochsiedendes Paraffinöl, das bis 400° brauchbar ist, auf das zu untersuchende Metall übertragen.



Das Metall befand sich in einem Graphittiegel *t*, der zusammen mit einem elektrischen Ofen in einem starkwandigen Stahlzylinder *K* stand. Der Ofen wurde nach außen durch Specksteinstücke *S* thermisch isoliert. Stahlblöcke *G* und *H* verschlossen unter Anwendung einer Kupferdichtung und starken äußeren Druckes das Rohr *K* an den Enden, und der scharf aufgepaßte Nickelstahlring *R* wirkte einer seitlichen Ausbiegung entgegen. Durch die Wasserspülung W_1 W_2 konnte dafür gesorgt werden, daß die dem einseitigen Druck ausgesetzten Metallteile sich nur wenig erwärmten. Die Stahlblöcke *G* und *H* befanden sich zwischen den Backen *P* einer hydraulischen Presse, und zwar unter Zwischenschaltung der Stücke *A* und *B*. Diese waren, wie des näheren aus der Figur ersichtlich ist, mit gekrümmten Oberflächen versehen, sodaß der Druck auch ohne langwieriges Zentrieren völlig gleichmäßig auf die Verschlußblöcke wirkte. Um die Bombe wieder zu öffnen, konnte nach Entfernung der hydraulischen Presse der Block *G* mit einer Schraubenmutter gehoben werden.

Die Stromzuführungen *Z* und das Thermoelement *T* mußten gut isoliert in die Druckkammer eingeführt werden; zu diesem Zweck wurden die Drähte von eng anschließenden Röhren aus Speckstein umgeben, die einen äußeren Durchmesser von 12 *mm* hatten und die man in entsprechende Bohrungen der Stahlstücke unter Anwendung sehr starker hydraulischer Drucke hineinpreßte.

Der Innenraum des Zylinders *K*, in den der Druck durch ein bei *E* sich ansetzendes Rohr übertragen wurde, faßte etwa 100 *ccm* Öl. Da sich dies Volumen ein wenig mit der Temperatur und beim Schmelzprozeß selbst änderte, so war es für die Konstanz des Druckes

vorteilhaft, in die Rohrleitung eine Stahlflasche von 1 Liter Inhalt einzuschalten und somit das Ölvolumen erheblich zu vergrößern. Es konnte nach sorgfältiger Dichtung aller Verbindungen erreicht werden, daß das zur Druckmessung dienende Bourdonsche Manometer (von Schäffer & Budenberg in Magdeburg) viele Stunden hindurch auch bei den höchsten Drucken keine Änderungen aufwies. Ein Auslaßventil wurde mit Leder gedichtet. Die Verbindungsstellen erfüllten alle Ansprüche an Dichtheit, wenn man die Rohre mit konischen Enden in Stahlblöcke einschliff und sie durch starke Muttern anpreßte.

Nach Versuchen von E. Wagner (*Ann. d. Physik* **27.** *S. 955. 1908*) ist bekannt, daß sich die elektromotorische Kraft der Thermoelemente mit dem Druck etwas ändert. Bei der vorliegenden Arbeit, bei der die relative Meßgenauigkeit auf 0,02° angegeben wird, kommt dieser Effekt indessen noch nicht in Frage.

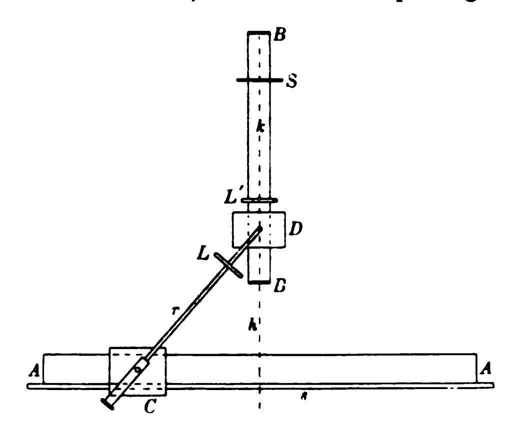
Als Resultat der Messungen ist anzugeben, daß bis zu 2000 Atm. die Erstarrungspunkte der untersuchten Metalle lineare Funktionen des Druckes sind. Bei einem Druck von 2000 Atm. liegt die Erstarrungstemperatur von Blei, Kadmium, Zink um 16,1°, 12,6°, 6,6° C. höher, von Wismut um 7,1° C. tiefer als bei Atmosphärendruck. Diese Resultate stimmen befriedigend überein mit den Folgerungen der Thermodynamik, die man aus der Clapeyron-Clausiusschen Gleichung ziehen kann, wenn man in dieselbe die bereits anderweitig bekannten Schmelzwärmen und Volumenänderungen während des Schmelzprozesses einsetzt.

Nicht unerwähnt darf gelassen werden, daß die absoluten Werte der in dieser Arbeit angegebenen Temperaturen zu niedrig sind. Die Autoren geben als Grundlage ihrer Skale die Siedepunkte von Naphthalin und Benzophenon zu 217,7° und 305,6° C. und den Schmelzpunkt von Zink zu 418,2° C. an; nach umfangreichen gasthermometrischen Messungen der Reichsanstalt, die soeben veröffentlicht sind (*Ann. d. Physik* **35.** *S. 761. 1911*), gelten für jene Fixpunkte der Reihe nach die Temperaturen 218,0°, 305,9° und 419,4°. *Hng.*

Eine Anordnung für das Plangitter, ähnlich der Rowlandschen für das Konkavgitter.

Von C. Barus und M. Barus. *Amer. Journ. of Science* **31.** *S. 85. 1911.*

Auf den zwei zu einander senkrechten Gleitschienen A und B werden die beiden beweglichen Schlitten C und D durch die Stange r in konstantem Abstand gehalten. Auf C befindet sich das Okular, auf D das Transparentgitter. Die Linse L wirft ein Bild des Spaltes S auf das Fadenkreuz des Okulars; S ist durch eine Stange k mit D fest verbunden. Das Gitter auf D kann so aufgestellt werden, daß es bei der Bewegung von C und D entweder parallel zu AA stehen bleibt, oder sich dreht und senkrecht zu r bleibt, d. h. es kann der Einfallswinkel oder der Beugungswinkel gleich Null gemacht werden. Für die zu messende Wellenlänge stellt man rechts und links von h auf das Fadenkreuz ein; nach Anbringung einer kleinen Korrektion ist der am Maßstab s gemessene Abstand dieser beiden Einstellungen der Wellenlänge proportional. Bringt man die achromatische Linse L nach L', so durchsetzt jetzt konvergentes Licht das Gitter, und die Verhältnisse für stillstehendes und sich drehendes Gitter werden gerade umgekehrt wie im vorigen Falle. Man kann auch zwei Linsen L und L' benutzen, sodaß paralleles Licht durch das Gitter geht. Natürlich läßt sich auch ein Reflexionsgitter oder ein Rowlandsches Konkavgitter verwenden.



Die mit ganz einfachen Mitteln, mit einem nur in *cm* geteilten Maßstabe s bewerkstelligte Messung ergab Werte für die Linie D_2, die um wenige Å.-E. von dem wirklichen Werte abwichen. *L. J.*

Über ein selbstregistrierendes Photometer.

Von M. Samec und A. Jenčič. *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **119**, *IIa. S. 1571. 1910.*

Der Apparat, dessen Herstellung durch eine Subvention der Akademie der Wissenschaften in Wien ermöglicht wurde, soll für Frei- und Fesselballons verwendet werden und ist zu physiologischen und klimatologischen Untersuchungen bestimmt.

In einem lichtdichten Kasten sind ein Uhrwerk und ein 7 *m* langer Streifen Edersches haltbar gesilbertes Chlorsilberphotometerpapier untergebracht. In der Mitte des Deckels befindet sich eine rechteckige Öffnung (2,2 *cm* lang, 2,0 *cm* breit), und in den Mitten der vier Seiten des Rechtecks sind Metallstifte angebracht, wodurch ein kleiner Teil der Öffnung beschattet werden kann. Dieser Teil wird also nur vom diffusen Himmelslicht, der übrige Teil eventuell auch noch von der Sonne bestrahlt. Das Papier wird mittels des Uhrwerks sprungweise um je 2,5 *cm* unter der Öffnung vorübergeführt, und zwar treten diese Sprünge, welche je 0,25 Sekunden dauern, zu den Zeiten 0, t, t', $t + t'$, $2t'$ u. s. w. ein. Gewählt wird $t' = 5$ Minuten, während sich t in geeigneter Weise von 3 Sekunden bis 5 Minuten variieren läßt; für gewöhnlich wird man t klein gegen t' nehmen. Beispielsweise sei im folgenden $t = 4$ Sekunden.

Der Papierstreifen enthält nach der Exposition zweierlei belichtete Felder a und b, die durch (nahezu) unbelichtete 3 *mm* breite Felder voneinander getrennt sind. Die nahezu 5 Minuten lang belichteten Felder a bekommen bei gewöhnlichen Lichtverhältnissen so starke Lichteindrücke, daß sie für die Auswertung der Messungen wertlos sind, aber sie erleichtern das Ablesen der Expositionszeiten. Die weniger geschwärzten, 3,75 Sekunden lang belichteten Felder b, welche gegebenenfalls noch eine von der Schattenwirkung eines der vier Metallstifte herrührende hellere Linie zeigen, werden mittels einer Lichtquelle von bekannter Lichtstärke ausgewertet. Leider wird nicht auf die Einzelheiten der Berechnung eingegangen.

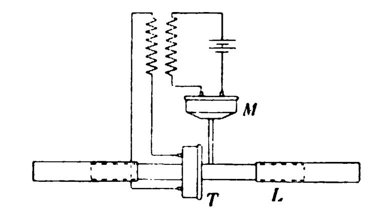
Die konstruktive Durcharbeitung des Apparates ist anzuerkennen. Wegen der vielen Fehlerquellen der photographischen Methode (z. B. Änderung in der spektralen Zusammensetzung der zu messenden Strahlung) ist indessen eine große Genauigkeit nicht zu erwarten.

E. Lb.

Akustischer Wechselstromerzeuger mit regulierbarer Periodenzahl für schwache Ströme.

Von A. Larsen. *Elektrotechn. Zeitschr.* **32**. *S. 284. 1911.*

Die Summer-Unterbrecher (vgl. *diese Zeitschr.* **23**. *S. 242. 1903*) zeigen eine gewisse Inkonstanz der Tonhöhe. Um diese zu verbessern, wendet Larsen Resonanzrohre an; dabei zeigte sich aber, daß die hinter der Membran befindliche Luft mitschwingt und dadurch Störungen verursacht. Es wird deshalb ein doppelseitiges Resonanzrohr L angewendet (vgl. die Figur), das zu beiden Seiten eines Dosentelephons T angeordnet ist. Das Mikrophon M wird durch ein enges, unmittelbar vor der Membran endendes Rohr gehalten. In den Mikrophonkreis ist ein geeigneter Transformator eingeschaltet, dessen Sekundärkreis das Telephon erregt. Durch Ausziehen der Rohre L kann man ohne Schwierigkeit Frequenzen von 600 bis 1200 herstellen und auf etwa $^1/_5$ Prozent konstant halten. Der Apparat wird von der A. G. dansk Telegrafonfabrik in Kopenhagen hergestellt.



E. O.

Bücherbesprechungen.

C. Pulfrich, Stereoskopisches Sehen und Messen. 8°. 40 S. m. 17 Figuren und einem Literatur-Verzeichnis seit 1900. Jena, G. Fischer 1911. 1 M.

Die sich angenehm lesende Abhandlung ist ein erweiterter Abdruck des von dem gleichen Verf. geschriebenen Artikels „*The Stereoscope*“ der *Encyclopaedia Britannica*. Sie gibt

eine sehr erwünschte und verdienstliche Ergänzung des Werkes von M. v. Rohr „Die binokularen Instrumente“, insofern als die Behandlung der stereoskopischen Meßinstrumente, deren Entwicklung fast ganz in dieses Jahrhundert fällt, nicht in den Rahmen des v. Rohrschen Werkes paßt und daher von v. Rohr auch nicht unternommen worden ist. Da andrerseits gerade der Ausbau des Stereoskops zu einem Meßapparat das große Interesse der Jetztzeit an diesem optischen Instrument hervorgerufen hat, war eine historische Darstellung dieser Entwicklung ein stark empfundenes Bedürfnis. Daß es der eigentliche Schöpfer dieses Meßverfahrens selbst ist, der sich dieser Aufgabe unterzogen hat, verleiht der Schrift ein besonderes Interesse und bürgt für ihre Vollständigkeit und Zuverlässigkeit.

An mehreren Stellen werden neue vom Verf. konstruierte Instrumente erwähnt, über die noch nichts veröffentlicht ist, und die in nächster Zeit weitere, wesentliche Fortschritte der stereoskopischen Meßkunst versprechen. Das Literatur-Verzeichnis von 276 Nummern enthält fast ausschließlich Arbeiten, die in den letzten 11 bis 12 Jahren erschienen sind; wegen der älteren Literatur wird auf das oben zitierte Quellenwerk von M. v. Rohr verwiesen. *E. Kohlschütter.*

Neu erschienene Bücher.

B. G. Teubners Sammlung v. Lehrbüchern auf dem Gebiete der mathematischen Wissenschaften m. Einschluß ihrer Anwendungen. gr. 8°. Leipzig, B. G. Teubner.

V. 2. G. Loria, Spezielle algebraische u. transzendente ebene Kurven. Theorie u. Geschichte. Nach dem italien. Mskr. bearb. deutsche Ausg. v. Gymn.-Ob.-Lehr. Fritz Schütte. 2. Aufl. 2. (Schluß-) Bd. Die transzendenten u. die abgeleiteten Kurven. VIII, 384 S. m. 80 Fig. auf 6 lith. Taf. 1911. 12,50 M.; geb. in Leinw. 14 M. — XXXI. L. Henneberg, Die graphische Statik der starren Systeme. XV, 732 S. m. 394 Fig. 1911. Geb. in Leinw. 24 M. — XXXV. G. Wallenberg, Theorie der linearen Differenzengleichungen. Unter Mitwirkg. v. A. Guldberg. XIV, 288 S. m. 5 Fig. 1911. 10 M.; geb. in Leinw. 11 M.

H. Danneel, Elektrochemie. 2. Auflage (2 Teile). Tl. I: Theoretische Elektrochemie u. ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. 12. 189 S. m. 16 Figuren. Leipzig 1911. Leinenband. 0,80 M.

P. Gruner, Kurzes Lehrbuch der Radioaktivität. 2., vollständig umgearb. Aufl. v. „Die radioaktiven Substanzen u. die Theorie des Atomzerfalles“. gr. 8°. IV, 119 S. m. 20 Fig. Bern, A. Francke 1911. 2,50 M.

Taschenbuch f. Mathematiker u. Physiker. Unter Mitwirkg. zahlreicher Fachgenossen hrsg. v. F. Auerbach u. R. Rothe. Mit e. Bildnis H. Minkowskis. 2. Jahrg. kl. 8°. IX, 567 S. m. 154 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1911. Geb. in Leinw. 7 M.

J. M. Eder, Ausführliches Handbuch der Photographie. In 4 Bdn. Bd. I. 3., vermehrte Aufl. Teil 4: Die photographischen Objektive. gr. 8°. VII, 329 S. m. 272 Fig. 12 M.

W. Trabert, Lehrbuch der kosmischen Physik. gr. 8°. X, 662 S. m. 1 farb. Karte u. 149 Fig. Leipzig 1911. 20 M.

J. Bauschinger u. J. Peters, Logarithmisch-trigonometrische Tafeln m. 8 Dezimalstellen, enth. die Logarithmen aller Zahlen von 1—200000 u. die Logarithmen der trigonometr. Funktionen f. jede Sexagesimalsekunde des Quadranten. Neu berechnet u. hrsg. II. Bd. Tafel der 8-stell. Logarithmen der trigonometr. Funktionen f. jede Sexagesimalsekunde des Quadranten. Ster.-Ausg. Lex. 8°. 952 S. Leipzig, W. Engelmann 1911. 35 M.; geb. in Leinw. 37 M.

J. Peters, Siebenstellige Logarithmentafel der trigonometrischen Funktionen f. jede Bogensekunde des Quadranten. Ster.-Ausg. Lex. 8°. VIII, 921 S. Leipzig, W. Engelmann 1911. 28 M.; geb. in Leinw. 30 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Soeben nach Schluß der Redaktion des vorliegenden Heftes geht uns die erschütternde Nachricht zu, daß

Herr Geheimer Regierungsrat Professor Dr. St. Lindeck

am 21. Oktober nach kurzer Krankheit verschieden ist.

Die Verdienste des Verstorbenen nicht nur um die „Zeitschrift für Instrumentenkunde“, sondern auch um die Wissenschaft und Technik der wissenschaftlichen Instrumente werden in dieser Zeitschrift von berufener Seite eine Würdigung erfahren. Wir wissen aber, daß mit uns alle Leser dieser Zeitschrift, deren Redaktion der Verstorbene mit seltener Liebe und größter Aufopferung seit 1895 geführt hat, dem trefflichen Manne ein ehrenvolles, dauerndes Andenken bewahren werden.

Berlin, den 23. Oktober 1911.

Kuratorium und Verlag der
Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **F. R. Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Raps**, geschäftsführendes Mitglied, Dr. **H. Krüss**, Prof. Dr. **R. Straubel**.

Redaktion: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **Oktober 1911.** Zehntes Heft.

Neues Durchgangs-Instrument für die Bestimmung fundamentaler Rektaszensionen auf photographischem Wege.

Von

L. Ambronn in Göttingen.

Anknüpfend an eine kurze Versuchsreihe, die von Dr. Hayn und mir Anfang der neunziger Jahre mit der photographischen Aufzeichnung der Durchgänge von Sternen durch den Meridian gemacht worden war, die aber leider äußerer Umstände wegen bald wieder abgebrochen werden mußte, veranlaßte ich im Herbst 1909 Hrn. R. Trümpler, diese Arbeiten mit etwas verbesserten Einrichtungen wieder aufzunehmen. Die Übertragung der Zeitmarken auf die Sternspuren wird bei dieser Methode durch kleine Bewegungen einer planparallelen Glasplatte bewirkt, die senkrecht zum Strahlengang an geeigneter Stelle in diesen eingeschaltet wird. Durch die Bewegungen dieser Platte, die direkt von der Hauptuhr veranlaßt werden, wird die Sternspur auf der photographischen Platte um kleine Strecken verschoben; die Länge der einzelnen Teile der Sternspur variiert dann je nach der Deklination des Sternes. Die Stellen der Unterbrechung geben die Zeitmarken mit großer Schärfe.

Die neuen Versuchsreihen solcher Aufnahmen an dem alten Reichenbachschen Durchgangs-Instrument der Göttinger Sternwarte ließen bald erkennen, daß diese Methode der Sternaufnahmen nach besserer Durchbildung des Instrumentariums tatsächlich Aussicht auf guten Erfolg bot. Das Nähere über diese Versuche und die theoretischen Untersuchungen besonders in bezug auf die optischen Fragen hat Hr. Dr. Trümpler in seiner Inaugural-Dissertation[1]) behandelt.

Im folgenden soll die Beschreibung eines von der Firma F. Sartorius in Göttingen eigens für die Anwendung des angegebenen Prinzips erbauten neuen Durchgangs-Instruments und seiner Einrichtungen gegeben werden.

Beschreibung des Durchgangs-Instruments.

Auf einem sehr schweren gußeisernen Untergestell *1* (Fig. 1) ruht das Fernrohr. Die starke Horizontalachse *2* von 90 *cm* Länge ist in der Mitte wie gewöhnlich zu einem Kubus ausgebildet, der an den vier freien Seiten durchbohrt ist. Zwei dieser Durchbohrungen sind mit Klappen verschlossen und dienen einmal für die Durchsicht der Kollimatoren, die im Osten und Westen des Instruments aufgestellt sind, und andererseits zum Einsetzen und Korrigieren des später zu beschreibenden elektrischen Hilfsapparates, der die obenerwähnte planparallele Glasplatte trägt. Vor den anderen Öffnungen sind die Fernrohrhälften, deren Rohre aus Stahl bestehen, befestigt. Diese werden

[1]) R. Trümpler. Eine Methode zur photographischen Bestimmung von Meridiandurchgängen. Dissertation, Göttingen 1910.

von etwas weiteren Rohren *3* zum Schutze gegen äußere Einflüsse umgeben. Mit dem Fernrohr sollen noch Äquatorsterne bis zur 7,5-ten photographischen Größe beobachtet werden, die bis zu etwa 70° Zenitdistanz herab kulminieren. Dementsprechend sind die Dimensionen des Fernrohres gewählt. Das von C. A. Steinheil Söhne in München gefertigte photographische Objektiv hat 180 *mm* Öffnung bei 180 *cm* Brennweite. Es liefert die nötige Schärfe der photographischen Bilder, ohne daß die Handlichkeit und Stabilität des Instruments beeinträchtigt würde. An den Umhüllungsrohren sind die Gestänge für den Objektivdeckel *5* und den Blendrahmen *6* angebracht. Der Blendrahmen besitzt vier Öffnungen von der Größe des Objektivs, die abwechselnd vor dieses gestellt werden können. Drei dieser Öffnungen sind mit feinen Gazegittern überzogen, die als Blenden wirken; die vierte Öffnung ist freigelassen und trägt, um ein Beschlagen des Objektivs zu verhüten und störendes Seitenlicht fernzuhalten, eine 30 *cm* lange Taukappe *4* aus Aluminiumblech. Die Blenden sind so eingerichtet, daß die Beugungsspektren nach Möglichkeit verschwinden, und daß sie der Reihe nach etwa 1,5; 3 und 4 Größenklassen abblenden. Sie sollen nicht nur dazu dienen, die photographischen Sternspuren verschieden heller Sterne nahezu gleich stark erscheinen zu lassen, sondern auch durch symmetrisches Vorschalten zur Elimination der etwa vorhandenen Helligkeitsgleichung.

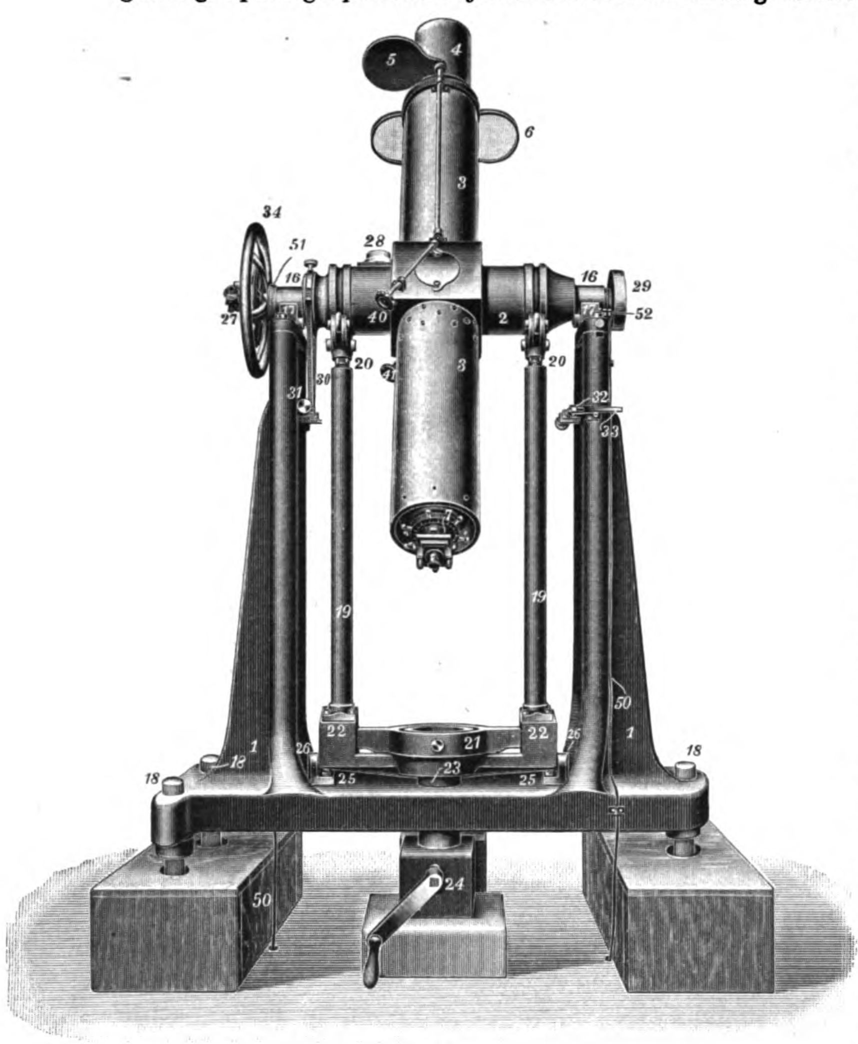


Fig. 1.

An Stelle des gewöhnlichen Okulars ist der Okularauszug *8* (Fig. 2) mit einer Einrichtung zur Aufnahme der photographischen Kassette versehen. Der Okularstutzen wird durch zwei diametral aufgeschraubte Rippen *9* geführt, von denen die eine mittels zweier Stellschrauben zur Berichtigung der Fadenstellung dient. Beide Rippen tragen auf ihrer Außenseite die Teile eines Schraubengewindes, dessen Mutter ein Ring *10* mit Griffknöpfen bildet. Durch Drehen dieses Ringes, der an seinem inneren Rande eine hundertteilige Skale trägt, verschiebt sich der Okularauszug bei jeder Umdrehung

sehr gleichmäßig um 1 *mm*, sodaß auf diese Weise eine außerordentlich genaue und bequeme Fokusierung möglich wird. Die Okularöffnung *11* besitzt einen Durchmesser von 40 *mm*, der 76 Bogenminuten entspricht. In der Brennebene sind eine größere Anzahl von Spinnenfäden ausgespannt, die zur Bewegungsrichtung der Sterne genau senkrecht gestellt werden können und auf der Platte als feine Unterbrechungen der Sternspuren sich bemerkbar machen oder bei kurzer Vorbelichtung des Gesichtsfeldes als klare Linien in dem leicht geschwärzten Bild des Gesichtsfeldes erscheinen.

Beim Einschieben der geschlossenen Blechkassette in den zu deren Aufnahme bestimmten Rahmen *12* wird diese durch zwei Blattfedern vom Fadennetz abgehalten, um dieses vor Verletzungen zu schützen. Beim Herausziehen des Kassettenschiebers hält die Sperrfeder *13* die Kassette selbst zurück. Um die Platte genau in den Fokus zu bringen, wird die geöffnete Kassette durch die beiden Exzenter *14*, die durch einen Griff miteinander verbunden sind, an den die Fäden tragenden Ring gedrückt, bis die photographische Platte auf drei Anschlagstiften aufliegt, deren Köpfe weniger als 0,1 *mm* über die Ebene des Fadennetzes vorstehen. Diesen Anschlägen liegen auf der Innenseite der starken Kassettenrückwand drei gleiche Stifte genau gegenüber, sodaß also die photographische Platte nur zwischen diesen drei Punkten festgehalten wird und keinerlei Spannung erleidet. Die Führungen der Exzenter werden durch zwei Federn *15* ziemlich kräftig gegen die Rückwand der Kassette gedrückt. An Stelle der Kassette kann auch ein Deckel mit Okular eingeschoben werden, sodaß durch visuelle Beobachtungen die vorläufige Justierung des Instruments wesentlich erleichtert wird. Der ganze Okularkopf kann durch ein schwarzes Tuch, welches an dem Umhüllungsrohr befestigt wird, während die Kassette ein- und ausgeschoben wird, und während der Exposition selbst gegen Lichtzutritt geschützt werden.

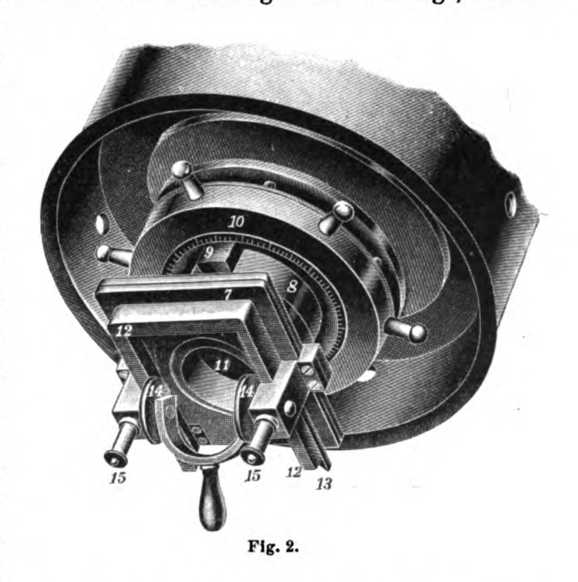


Fig. 2.

Das Fernrohr ruht mit seiner Achse mittels der 9 *cm* dicken Zapfen *16* (Fig. 1) in starken Lagerstücken *17* aus Rotguß, von denen das eine azimutal verschiebbar ist. Der Umlegemechanismus ist ähnlich eingerichtet wie bei den kleinen transportablen Durchgangs-Instrumenten mit gebrochenem Fernrohr. Es ist das hier möglich, weil das Okularende auch während der Expositionen in der Nähe des Zenits nicht zugänglich zu sein braucht. Die auf dem Querstück *22* ruhenden Federgehäuse *19* führen zwei Stangen, welche durch eine Rollengabel das Fernrohr unter der Achse entlasten; sie werden von einem Wagebalken *21* getragen. Dieser ruht mittels eines Bolzens auf einem Zylinder *23*, der durch eine Öffnung in der Grundplatte des Untergestells hindurchgeht und in der Umlegevorrichtung, die auf einem besonderen Zementblock montiert ist, endigt. Beim Umlegen des Instruments wird der Zylinder durch Umdrehung der Kurbel *24* mittels eines Exzenters gehoben, worauf die Entlastungsvorrichtung das Instrument aufnimmt und dieses auf einem Kugellager leicht und schnell gedreht werden kann. Die Drehung wird durch die Anschläge *25* begrenzt, und beim Herunterlassen führen zwei Ansätze *26* das Instrument in die richtige Lage

zurück. Der Zylinder *23* geht frei durch die Grundplatte hindurch, sodaß die Umlegung des Fernrohres ganz unabhängig von dem Untergestell des Instruments erfolgt und keine Störung des Azimuts zu befürchten ist. Das ganze Instrument ist mittels dreier Fußschrauben *18* und entsprechender Unterlegplatten, von denen die eine größere azimutale Korrektionseinrichtungen besitzt, auf zwei Ziegelsteinpfeilern aufgestellt. Diese niedrigen Pfeiler sowie derjenige, welcher die Umlegevorrichtung trägt, und der für den Quecksilberhorizont bestimmte ruhen gemeinsam auf einem nahezu 20 *cbm* haltenden Betonblock.

Zum Einstellen des Instruments wird ein „Sucherfernrohr" verwendet, welches zum größten Teil in der durchbohrten Drehachse des Instruments liegt, deren eines Ende das Okular *27* trägt. Das Objektiv des Suchers hat 6 *cm* Öffnung und tritt mit einem kurzen Ansatzrohr bei *28* nur wenig aus der Achse (direkt neben dem Kubus) heraus. Ein um 45° geneigter Spiegel reflektiert die von dem Objektiv kommenden Strahlen nach dem Okular. Dieses Okular dient gleichzeitig für ein zweites Fernrohr, dessen Objektiv von 4 *cm* Öffnung in dem anderen Zapfen bei *29* befestigt ist. Die von ihm kommenden Strahlen werden durch eine Öffnung im Spiegel des Suchers durchgelassen. Auf diese Weise ist es möglich, die Tätigkeit des Beobachters ganz auf das Okular bei *27* zu konzentrieren, und es sind daher auch alle Handgriffe, die während der Beobachtungen benötigt werden, so angeordnet, daß sie von dem Stand des Beobachters aus betätigt werden können.

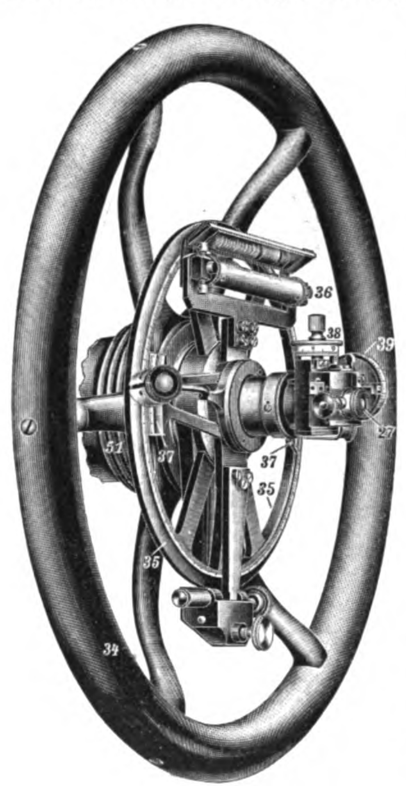


Fig. 3.

Durch den Klemmarm bei *30* und die Schraube *31* mit Gegenfeder *32* wird die Feinbewegung in Deklination bewirkt. Zum Ausschalten der Klemmeinrichtung beim Umlegen genügt ein einziger Griff, indem durch den Hebel *33* die Gegenfeder zurückgezogen und dieser Hebel in einer Sperrfeder festgehalten wird; um die Feinbewegung nach umgelegtem Instrument wieder in Tätigkeit zu setzen, ist nur ein Lösen der Sperrfeder nötig.

Eine bequeme Bewegung des Fernrohres bei der Einstellung in Zenitdistanz wird durch das Handrad *34* (Fig. 3) von 40 cm Durchmesser erreicht. Unmittelbar außerhalb desselben sitzt der Einstellkreis *35*, der von 10′ zu 10′ geteilt ist und mittels der Nonien *37*, der Libellenalhidade *36* Einstellungen in Zenitdistanz bis auf eine Minute schnell und sicher gestattet. In der Bildebene des Suchers befinden sich zwei zueinander senkrecht stehende, mittels der Mikrometerschrauben *38* und *39* bewegliche Doppelfäden; der eine derselben, der parallel zur Bewegungsrichtung des Sternes steht, *39*, wird für den Sucher verwandt, zum genauen Einstellen der Sterne in Zenitdistanz. Um nämlich eine ganze Reihe von Sternspuren auf derselben photographischen Platte aufnehmen zu können, wird jeder Stern in der Deklinationsrichtung an eine andere Stelle des Gesichtsfeldes eingestellt, sodaß die Spuren auf der Platte alle unter einander liegen. Am besten wird die Platte ausgenutzt, wenn die Abstände

der Spuren einander gleich sind, und dies wird dadurch erreicht, daß der Doppelfaden durch die Mikrometerschraube *39* zwischen zwei Aufnahmen um eine Viertelumdrehung (gleich 1', entsprechend 0,6 *mm* auf der photographischen Platte), die durch einen fühlbaren Anschlag markiert ist, gedreht und der nächste Stern im Sucher wieder auf den Doppelfaden eingestellt wird. Durch diese Einrichtung können bei dem großen Gesichtsfelde des Fernrohres 40 und mehr Sterndurchgänge in jeder beliebigen Anordnung auf einer einzigen Platte aufgenommen werden, ohne zu weit aus der Mitte des Gesichtsfeldes herauszukommen. Der zweite Doppelfaden, der zum Achsenfernrohr gehört und zur Einstellung der Kollimatoren dient, besitzt geringeren Bewegungsspielraum und ist mit einer feinen Meßschraube versehen. Er hat bei jeder Stellung des Fernrohres eine dem Großkreis des Meridians parallele Richtung und mißt daher direkt diejenige Komponente der Abweichung der Instrumentenachse von der Achse der Kollimatoren, die als Referenzlinie dient, welche auf die Durchgangszeit bezw. die Rektaszension des Sternes entfällt. Vom Okularende des Suchers aus sind die beiden Handgriffe *40* und *41* (Fig. 1) bequem erreichbar, die das Öffnen und Schließen des Objektivdeckels bezw. das Vorschalten der Gitterblenden ermöglichen.

Apparat für die Aufnahme und Bewegung der Glasplatte zur Ausführung der Verschiebung der Sternspuren.

Die planparallele Glasplatte *42* (Fig. 4), durch deren Drehung die notwendige Beziehung zwischen Uhrzeit und Sternspur gewonnen wird, ist direkt an der Innenfläche des Kubus auf besonderem Gestell befestigt, sodaß sie sich in einer Entfernung von etwa $^2/_5$ der Brennweite vom Okular aus befindet, da sich diese Stelle nach den optischen Vorgängen bei der Abbildung der Sterne als die günstigste ergab. Sie ist rund, besitzt einen Durchmesser von 9 *cm*, eine Dicke von 6 *mm* und besteht aus Jenaer Crown 1550 mit dem Brechungsindex 1,62 und möglichst kleiner Dispersion. Zur Erzeugung einer Spurverschiebung von 0,1 *mm* ist eine Drehung der Platte um 2,5° notwendig. Die Drehung wird durch Elektromagnete bewirkt, deren Anker an der Fassung für die Glasplatte angebracht sind. Um aber eine Masse von so großem Trägheitsmoment in genügend kurzer Zeit um diesen Betrag zu drehen, sind recht erhebliche Kräfte nötig, und das Aufschlagen könnte immerhin Erschütterungen hervorbringen. In der Befürchtung, es könnten sich solche auf das Fernrohr übertragen, ist ein ähnliches Prinzip zu Hilfe genommen worden, wie es bei den Rohrrücklaufgeschützen zur Minderung des Rückstoßes verwendet wird. Es ist nämlich auch der Rahmen *43*, der die acht Elektromagnete *44* und die Ansschlagschrauben *45* trägt, um die Drehachse der Glasplatte drehbar angeordnet worden, sodaß er nur durch eine Blattfeder *46* in der Gleichgewichtslage gehalten wird. Beim Anziehen der Magnete und beim Aufschlagen wird

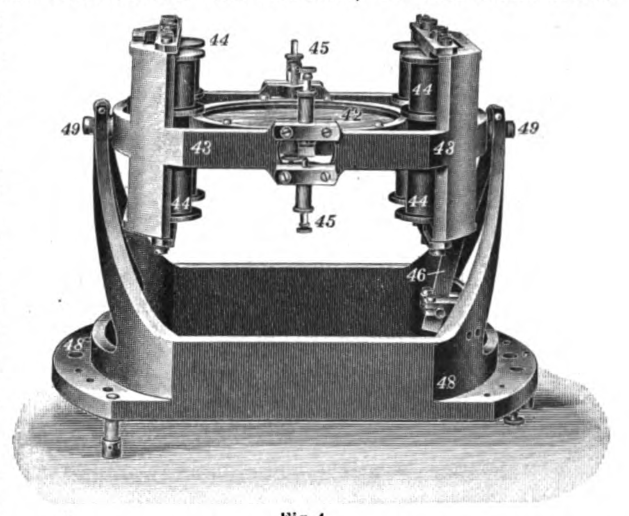


Fig. 4.
Die elektrischen Verbindungsleitungen sind der Deutlichkeit halber nicht gezeichnet.

die Masse der Glasplatte mit ihrer Fassung zunächst von den Anschlägen *45* aufgenommen, die ihrerseits an dem Rahmen mit den Magneten angebracht sind. Dieser Rahmen bewegt sich aber infolge seines viel größeren Trägheitsmomentes nur außerordentlich wenig. Der Rückstoß wird noch durch kleine Federbolzen verringert, die den Beginn der Bewegung der Glasplatte wiederum erleichtern, sodaß die relativ großen Massen der Tätigkeit der Magnete leicht und sicher folgen. Die acht Magnete sind in zwei Gruppen von je vier geschaltet, von denen die eine zur Drehung der Platte in der einen Richtung, die andere zur Rückdrehung dient; zwischen jeder Drehung muß der elektrische Strom von der einen Magnetgruppe auf die andere umgeschaltet werden. Aus dem Ton der Aufschläge und den Spurunterbrechungen selbst geht hervor, daß durch diese Anordnung wirklich eine rasche und gleichmäßige Drehung der Platte erzielt wird. Das Gußstück *48*, das die Lager *49* der Platte und des Rahmens trägt, ist direkt am Kubus des Instruments selbst befestigt und durch Stellschrauben so justierbar, daß die Glasplatte in der Ruhelage auf der optischen Achse des Fernrohres senkrecht steht. Es kann mit der ganzen Dreheinrichtung ohne große Schwierigkeiten durch die Öffnungen im Kubus eingesetzt und justiert werden. Die drei Stromzuleitungen *50* (Fig. 1) werden durch Ringe *51* neben den Zapfen der Achse und die Schleifkontakte *52* (auf der anderen Seite nicht sichtbar) in das Fernrohr eingeführt.

Die Drehungen der Glasplatte werden durch eine Rieflersche Präzisionspendeluhr bewirkt, welche Hr. Ingenieur Dr. Riefler zur Verfügung zu stellen die Freundlichkeit hatte, und die im Keller der Sternwarte aufgestellt ist. Der Sekundenkontakt derselben, der abwechselnd während einer ganzen Sekunde den Strom schließt, während der nächsten unterbricht, betätigt zunächst ein empfindliches polarisiertes Relais, und dieses schaltet einen Strom von etwa 0,2 Amp. von der einen Magnetgruppe auf die andere über.

Diese Anordnung liefert zunächst bei jedem Sekundenschlage der Uhr eine Verschiebung der Sternspur. Bei Äquatorsternen ist dieses Intervall wohl geeignet, die Verschiebungen deutlich hervortreten zu lassen; aber schon bei Deklinationen über 50° fallen diese infolge der langsameren Bewegung der Sterne so nah zusammen, daß die Schärfe der Einstellung beim Ausmessen der Platten darunter leidet. Es mußte also eine Einrichtung getroffen werden, die gestattet, die Intervalle, in denen die Verschiebungen vor sich gehen, zu verändern; es erwiesen sich bis zu 87° Deklination die Intervalle 1; 2; 4; 10 Sek. als ausreichend. Zur Erlangung der drei letzteren Intervalle wird eine Hilfsuhr benutzt, die von der Normaluhr im Keller elektrisch synchronisiert wird, und die die durch das Relais zu bewirkenden Umschaltungen demgemäß regelt. Auf die Steigradachse *s* (Fig. 5) eines Uhrwerks sind drei Zahnrädchen Z aufgesetzt mit 30, 15 bezw. 6 Zähnen; auf diesen Zähnen (in Fig. 5 ist nur das Rad für das 2 Sek.-Intervall skizziert, die anderen beiden sind dahinterliegend zu denken) gleitet mit einer Nase *n* ein dreiarmiger Hebel; dieser dient wiederum als Hemmung für einen Flügel F, der durch Gewicht und Zahnrad-Übertragung gedreht wird. Die Achse von F trägt gleichzeitig eine Trommel S (in Wirklichkeit zwei, in Fig. 6 neben

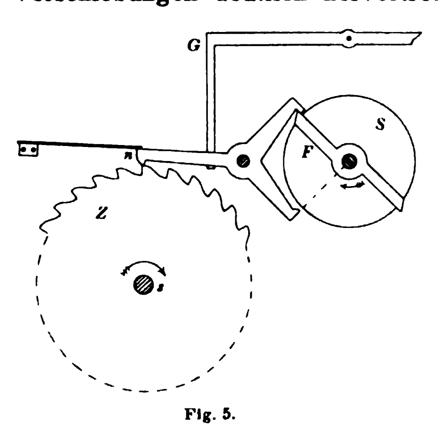


Fig. 5.

einander gezeichnete Trommeln) mit fünf Schleifkontakten *a*, *b*, *c*, *d*, *e*. Jede Bewegung dieser Hemmung (Heben der Nase durch einen Zahn oder Hinuntersinken derselben in eine Lücke) verursacht eine Vierteldrehung des Flügels und der Schalttrommel, und dementsprechend vermag diese vier verschiedene Schaltungen auszuführen, die sich fortwährend wiederholen. Nach Vorübergehen von je zwei Zähnen eines der Zahnräder erreicht die Trommel wieder dieselbe Lage. Da die Hilfsuhr infolge der Synchronisation gegenüber der Normaluhr eine bestimmte, immer gleichbleibende Phasendifferenz aufweist, erfolgen die Auslösungen der Hilfshemmung und die Schaltungen der Trommel in der Zwischenzeit zwischen den Kontakten der Normaluhr, und diese Umschaltungen haben daher *keinerlei Einfluſs* auf die Genauigkeit der Zeitübertragung. Fig. 6 gibt eine schematische Skizze der vier Schaltungen der

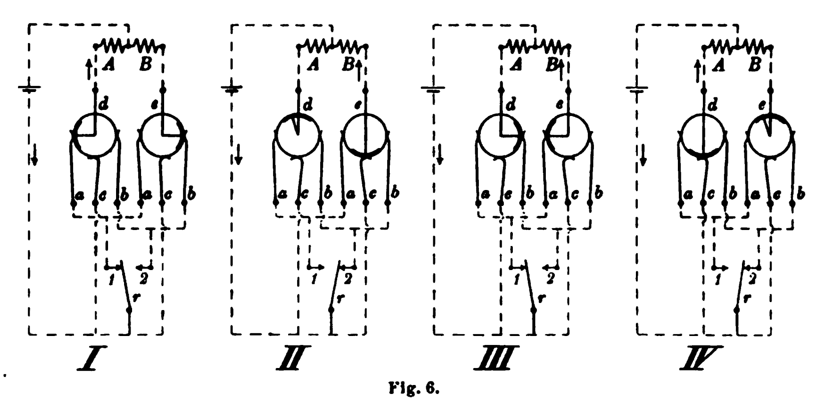


Fig. 6.

A und *B* stellen die Wicklungen der beiden Magnetgruppen von Fig. 4 dar. — Die skizzierten Schaltungen *I* bis *IV* treten immer erst dann ein, wenn die Hauptuhr das Umlegen der Relaiszunge *r* bewirkt hat.

Trommeln und die zugehörigen Stellungen *1* und *2* der Relaiszunge *r* für den Fall der 2 Sekunden-Intervalle durch Vermittelung des Zahnrades mit 30 Zähnen. Bei den übrigen beiden Zahnrädern fehlt jeder 2., 3., 4. und 5. Zahn, und die Schaltungen II und IV der Trommel dauern je 3 bezw. 9 Sekunden. Durch die Gabel *G* (Fig. 5) läßt sich die Hilfshemmung seitlich verschieben, sodaß die Nase des dreiarmigen Hebels auf dem gewünschten der drei nebeneinander liegenden Zahnräder gleitet; ebenso kann dieser von den Zahnrädern weggehoben werden, sodaß die Schaltung I oder III der Trommel dauernd bestehen bleibt und die Drehung der Glasplatte in jeder Sekunde erfolgt. Die Gabel ist neuerdings durch eine axial wirkende Einrichtung ersetzt worden. Als Minutenzeichen setzt die Normaluhr beim Beginn jeder Minute einen Kontakt aus, und dementsprechend sind an den betreffenden Stellen der Zahnräder die Zähne etwas geändert, sodaß die Verschiebung, die in der Sekunde 0 ausbleibt, in der 1. bezw. 2. oder 4. Sekunde nachgeholt wird. Der Antrieb für die Schalteinrichtung läuft verhältnismäßig schnell ab, da wegen des Kraftaufwandes nur ein Rad vor die Schalttrommel gesetzt ist. Er wird durch ein Gewicht an Kette ohne Ende bewirkt, welches mittels eines kleinen Elektromotors selbsttätig wieder aufgezogen wird.

Nördlich vom Instrument selbst ist ein großer Quecksilberhorizont aufgestellt. Dieser besteht aus einer runden Schale, die mit Kupfer ausgeschlagen ist und einen Durchmesser von 52 *cm* besitzt, um gleichzeitig auch für den Sucher zu dienen. Auf einer eisernen Unterlagsplatte läßt sich der ganze eiserne Trog, der in der Mitte nur eine Vertiefung von 0,4 *mm* hat, aber trotzdem nahezu 16 *kg* Quecksilber faßt, auf Rollen mit Kettenführung verschieben. Um ihn bei der Beobachtung der reflektierten

Bilder bequem für die verschiedenen Deklinationen einzustellen, ist die Unterlagsplatte mit Deklinationsskale versehen.

Das Häuschen, in dem das Instrument aufgestellt ist, hat 4 *m* Länge und 4 *m* Breite bei 3,4 *m* Giebelhöhe. Es ist völlig getrennt vom Instrument fundiert und berührt mit Fußboden und Bekleidung der Pfeiler keinen Teil der Fundamente oder des Instruments. Das Dach besteht aus zwei Teilen, die mit Rollen auf eisernen Schienen um je einen Meter nach Osten und Westen auseinandergeschoben werden können. Die Drehachse des Instruments liegt etwa 2,3 *m* über dem Fußboden, sodaß das Fernrohr sich bei geöffnetem Dach praktisch vollkommen im Freien befindet. In der Südwand wird der Meridianspalt durch die Tür, in der Nordwand durch eine große Fensteröffnung gebildet. Zwei Luken in der Ost- und Westwand lassen den Durchblick nach den Kollimatoren frei. Diese werden von gut fundierten Backsteinpfeilern getragen.

Aufnahme der Sterndurchgänge.

Das photographische Durchgangs-Instrument läßt zwei verschiedene Beobachtungsverfahren zu, je nachdem es sich um die Messung kleiner Rektaszensionsdifferenzen von Sternen handelt, deren Deklinationen in einem Bereich liegen, der kleiner ist als der Durchmesser des Gesichtsfeldes, oder um Rektaszensionsbestimmungen von Sternen, die erheblich verschiedene Deklinationen besitzen.

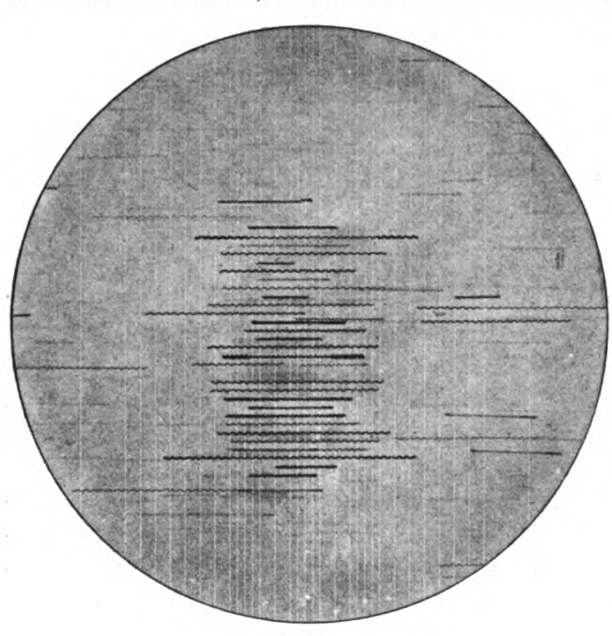


Fig. 7.

Im ersteren Falle, der sich besonders zur Ausmessung von Sterngruppen oder Sternhaufen eignet, wird das Instrument einfach auf das Mittel der Deklination der Sterne eingestellt und, während die Glasplatte ihre Bewegungen ausführt, so lange exponiert, als die Sterngruppe zu ihrem Durchgang gebraucht. Es werden dann alle Sterne aufgenommen, die innerhalb des Gesichtsfeldes des Fernrohres kulminieren, und aus ihren Durchgangszeiten durch den Mittelfaden leitet man die Rektaszensionsdifferenzen ab unter Berücksichtigung der Fadenschiefe und des Uhrganges[1]). Wenn die Aufstellung des Instruments einigermaßen stabil ist, können auf diese Weise Rektaszensionsdifferenzen bis zu einer halben Stunde und mehr gemessen werden. Solche Aufnahmen wurden mit dem neuen Instrument von den Sterngruppen im Perseus, den Plejaden und Hyaden ausgeführt. Aus der Übereinstimmung der Resultate der an verschiedenen Abenden von derselben Sterngruppe genommenen Platten ergab sich der mittlere Fehler einer Durchgangsbestim-

[1]) Die Fig. 7 zeigt das Aussehen einer mit Sternspuren bedeckten Platte in doppelter Größe. Die einzelnen Intervalle in den Spuren haben verschiedene Länge, je nachdem die 1, 2, 4 oder 10 Sek.-Kontakte eingeschaltet waren. Die Abblendung einzelner Spuren ist auch sichtbar, ebenso die Minutenzeichen.

mung zu etwa + 0,12", also nur etwa halb so groß wie bei den besten bisherigen visuellen Durchgangsbestimmungen (vgl. z. B. E. Jost, Untersuchungen über die Parallaxe von 29 Fixsternen. *Veröffentl. d. Großherzogl. Sternwarte Heidelberg* **4**. Der mittlere Fehler ist dort durchschnittlich zu 0,24" gefunden.)

Die andere Beobachtungsart soll in erster Linie zur Bestimmung der Rektaszensionen von Fundamentalsternen Verwendung finden. Es wird dabei jeder Stern einzeln auf eine bestimmte Stelle des Gesichtsfeldes eingestellt, auf einer Platte eine Gruppe von 20 bis 40 Sternen aufgenommen und deren Durchgangszeiten durch den Mittelfaden abgeleitet. Aus der Gesamtheit der Sterne einer Gruppe, die auf möglichst verschiedene Zenitdistanzen verteilt werden, können die Instrumentalfehler und die Uhrkorrektion bestimmt und mit Hilfe derselben die Verbesserungen der Rektaszensionen der einzelnen Sterne erhalten werden.

Zur Bestimmung der Aufstellungsfehler des Instruments können mit Vorteil auch Aufnahmen der Umgebung des Himmelspoles verwendet werden. Bei einer Exposition von 2 Minuten erhält man infolge der langsamen Bewegung dieser Sterne eine große Zahl von beinahe punktförmigen Bildern von Sternen bis zur 12. Größe; je eine solche Aufnahme in beiden Kreislagen direkt und reflektiert liefert Neigung, Azimut und Kollimationsfehler des Instruments mit großer Schärfe.

Die Aufnahme eines Durchganges dauert für alle Sterne bis zu 70° Deklination zwischen 1 und 2 Minuten, von 70° bis 80° etwa 2 bis 5 Minuten. Infolge der bequemen Handhabung des Instruments können daher Sterne in Zwischenräumen von 1,5 bis 4 Minuten aufgenommen werden; im Durchschnitt erhält man für längere Beobachtungsserien einschließlich des Einsetzens der Kassette etwa 20 bis 25 Sterndurchgänge in einer Stunde.

Die Einzelheiten vorstehender Beschreibung hat Hr. Dr. Trümpler zusammengestellt, der auch die ersten vollständigen Beobachtungsreihen ausführte. Die Möglichkeit der Ausführung und Aufstellung des vorstehend beschriebenen Instruments verdanke ich dem großen Interesse, welches Hr. Dr. Ehrensberger diesen astronomischen Untersuchungen entgegenbrachte, und der die Firma Fried. Krupp in Essen veranlaßte, für den Bau und die Aufstellung dieses neuen Durchgangs-Instruments eine Summe von über 9000 M. mir gütigst zur Verfügung zu stellen, was mit dem Ausdruck besonderen Dankes auch hier erwähnt werden darf.

Ein neues Nivellierinstrument.

Von
Adolf Fennel in Cassel.

Bei allen bisher bekannten Konstruktionen von Nivellierinstrumenten, deren Fernrohre nicht um ihre optische Achse drehbar und umlegbar sind, ist eine Berichtigung von einem Standpunkte aus unmöglich. Es sind vielmehr zur Berichtigung solcher „Nivellierinstrumente mit festem Fernrohr" zwei Aufstellungen des Instruments, zwei Aufstellungen der Latte und vier Lattenablesungen nötig.

Bei der nachstehend beschriebenen neuen Konstruktion hingegen kann das Instrument *von einem Standpunkt aus* berichtigt werden, trotzdem das Fernrohr weder drehbar noch umlegbar ist. Dieser Vorzug ist dadurch erreicht, daß ein Fernrohr mit Einrichtung zum Vor- und Rückblick angewandt ist, bei dem die Zielmarken (kleine Strichkreuze) genau in der optischen Achse der Objektive liegen.

Die genaue Herstellung dieser Marken ist nicht ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel erreichbar, und hierin ist augenscheinlich der Grund dafür zu suchen, daß Instrumente dieser Art noch nicht ausgeführt sind. Durch Konstruktion eines besonderen Apparats ist es dem Verfasser jedoch gelungen, das für diese Instrumente nötige Zusammenfallen der Zielmarke und der optischen Achse in aller wünschenswerten Schärfe zu erreichen.

Die Instrumente der neuen Art unterscheiden sich äußerlich kaum von den bekannten älteren Konstruktionen. Fig. 1 zeigt eins der neuen Instrumente im Längs-

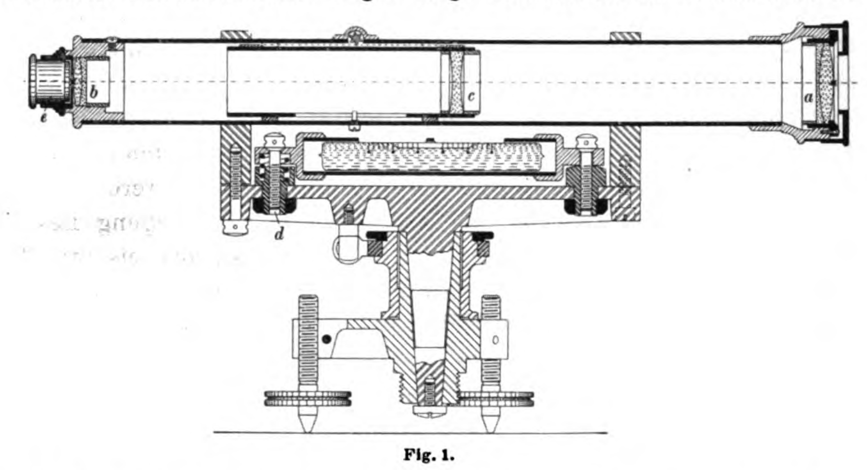


Fig. 1.

schnitt. Es sind darin *a* und *b* zwei Objektive, deren jedes eine in der optischen Achse liegende Zielmarke in Form eines Kreuzes trägt. Zur Einstellung auf Ziele verschiedener Entfernung wird die Konkavlinse[1]) *c* im Fernrohr verschoben. Das Okular *e*, das gewöhnlich beim Nivellieren vor dem kleinen Objektiv *b* steckt, ist so eingerichtet, daß es auch vor das Objektiv *a* gesteckt werden kann, wenn man in der Richtung von *a* nach *b* zielt.

Die Berichtigung der Instrumente geschieht folgendermaßen. Man stellt zunächst die Libellenachse auf bekannte Weise mit Hilfe der Justierschraube *d* rechtwinklig zur Vertikalachse und zielt dann, während das Okular vor dem Objektiv *b* steht, eine Nivellierlatte an. Die Lesung sei *N*. Hierauf dreht man das Instrument um 180° um seine Vertikalachse, steckt das Okular vor das Objektiv *a* und macht eine zweite Ablesung an der Latte. Hat man hierbei die Lesung *P* erhalten, so neigt man das ganze Fernrohr mit den Justierschrauben am Fernrohrträger so, daß sich an der Latte die Lesung $\frac{N+P}{2}$ ergibt.

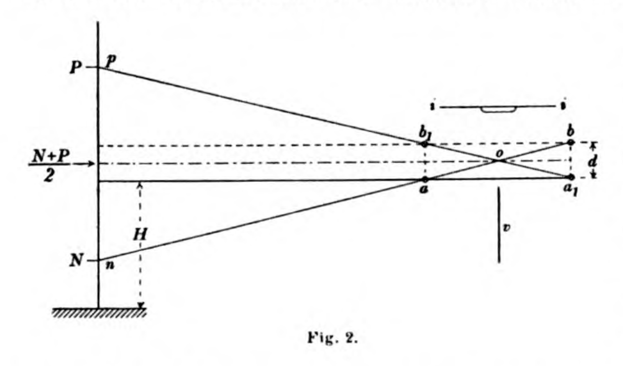


Fig. 2.

Zur Erklärung dieser Methode der Berichtigung[2]) diene die Fig. 2, in der *v* die Vertikalachse, *i i* die auf bekannte Weise rechtwinklig dagegen gestellte Libellenachse,

[1]) Bei Nivellierinstrumenten zuerst von Wild angewandt (vgl. *diese Zeitschr.* **29.** *S. 329. 1909*).

[2]) Auf die Konkavlinse ist dabei der Einfachheit halber keine Rücksicht genommen.

a der optische Mittelpunkt und die Zielmarke des größeren, b der optische Mittelpunkt und die Zielmarke des kleineren Objektivs sei.

Nimmt man an, daß das Okular vor dem Objektiv b steht, und zielt man von b durch a nach einer Nivellierlatte, so wird man diese in dem Punkte n treffen. Dreht man nun das Fernrohr um die Vertikalachse um 180°, nachdem man das Okular bei a aufgesteckt hat, so nimmt der Punkt a die Lage a_1 und der Punkt b die Lage b_1 ein. Die Ziellinie $a_1 b_1$ trifft jetzt die Latte bei p. Nennen wir die dem Punkte n zugehörige Lattenhöhe N und die dem Punkte p zugehörige Lattenhöhe P, so ist ohne weiteres aus der Figur ersichtlich, daß das Mittel der beiden abgelesenen Höhen $\frac{N+P}{2}$ im Horizonte des Punktes o liegt, in dem sich die beiden Ziellinien innerhalb des Fernrohres schneiden. Lag vor Beginn der Berichtigung der optische Mittelpunkt nebst Zielmarke des Objektivs b um die Strecke d über dem Horizont von a, so ist offenbar $d/2$ der Abstand des Punktes o über dem Horizont von a. Die Lattenhöhe H, die dem Horizont von a entspricht, ergibt sich also zu $H = \frac{N+P}{2} - \frac{d}{2}$.

Da es keinem Zweifel unterliegt, daß man beim ersten Zusammensetzen der Instrumente — also vor der ersten Berichtigung — den Punkt b auf etwa 0,5 *mm* richtig einstellen kann, so würde das Mittel aus zwei Lattenhöhen nur um 0,25 *mm* falsch sein, eine Größe, die fast stets vernachlässigt werden kann.

Verstellt man nun b mittels der Justierschrauben am Fernrohrträger so, daß die Ziellinie der Lattenhöhe $\frac{N+P}{2}$ angibt, so ist damit zugleich d auf einen kleinen Bruchteil seines Anfangswertes vermindert. Bei einer etwa zur Kontrolle nötigen Wiederholung des Justierverfahrens ist dann der Wert von $d/2$ bereits so klein geworden, daß er für alle vorkommenden Fälle außer Betracht bleiben kann und der Wert $\frac{N+P}{2}$ dem wahren Horizont von a entspricht.

Instrumente dieser Art — ohne oder mit Kippschraube — bieten gegenüber allen bekannten Konstruktionen den Vorteil, daß einfache Bauart und bequeme Justierbarkeit in bisher unerreichter Weise vereinigt sind.

Cassel, den 5. August 1911.

Umformung der Seidelschen Bildfehlerausdrücke.

Von
Max Lange in Berlin-Friedenau.

Unter Benutzung der in dem Buche von M. v. Rohr „Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten“ angewandten Bezeichnungen sei

$$t_k = \left(\frac{h_k}{h_1}\right)^4 Q_{k\,s}^2 \Delta_k \frac{1}{n\,s} \qquad 1)$$

$$u_k = \frac{y_k\, Q_{k\,x}}{h_k\, Q_{k\,s}} \qquad 2)$$

$$P_k = \frac{1}{r_k} \Delta_k \left(\frac{1}{n}\right) \qquad 3)$$

$$k = n_1 \left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{x_1}\right). \qquad 4)$$

Dann lauten die Gleichungen für die Korrektion der fünf Seidelschen Bildfehler

1. Sphärische Korrektion $\sum_{k=1}^{k=m} t_k = 0$

2. Korrektion der Koma $\sum_{k=1}^{k=m} t_k\, u_k = 0$

3. Sagittale Bildebenung $\sum_{k=1}^{k=m} t_k\, u_k^2 - k^2 \sum_{k=1}^{k=m} P_k = 0$

4. Petzval-Bedingung $\sum_{k=1}^{k=m} P_k = 0$

5. Korrektion der Verzeichnung $\sum_{k=1}^{k=m} t_k\, u_k^3 - k^2 \sum_{k=1}^{k=m} P_k\, u_k = 0.$

Die auf der rechten Seite der Gl. 1) bis 4) stehenden Größen haben nach M. v. Rohr folgende Bedeutung:

h Einfallshöhen des durch den Achsenobjektpunkt gehenden Zentralstrahls,
y „ „ „ „ Blendenort „ „ ,
$Q_{k,s}$ Nullinvarianten „ „ „ Achsenobjektpunkt „ „ ,
$Q_{k,x}$ „ „ „ „ Blendenort „ „
r Radien der Linsenkugelflächen,
n Brechungsindizes,
Δ optisches Intervall,
s Schnittweiten des durch den Achsenobjektpunkt gehenden Zentralstrahls
x „ „ „ „ Blendenort „ „ ,
m Anzahl der Kugelflächen.

Die Formeln in der angegebenen Gestalt enthalten sehr verschiedenartige Variabele, zwischen denen noch eine Reihe von Beziehungen besteht. Eliminiert man einen Teil dieser Variabeln, so kommt man bei nicht ganz glücklicher Wahl der beizubehaltenden Größen zu völlig unsymmetrisch gebauten, schwer übersichtlichen Gleichungen. Es soll daher versucht werden, die Zahl der Variabeln auf das für die praktische Berechnung erforderliche Minimum zu bringen, ohne gleichzeitig an Einfachheit des Formelbaus allzuviel aufzugeben.

Zu diesem Zwecke werden die neuen Größen eingeführt:

$$\alpha_k = \frac{h_k}{s_k} = \frac{h_{k-1}}{s'_{k-1}} \quad 5) \qquad \nu_k = \frac{1}{n_k}. \quad 6)$$

Wegen der Beziehung (nach M. v. Rohr)

$$Q_{k,s} = -\frac{\Delta_k\left(\frac{1}{s}\right)}{\Delta_k\left(\frac{1}{n}\right)} = -\frac{\frac{1}{s'_k} - \frac{1}{s_k}}{\frac{1}{n_{k+1}} - \frac{1}{n_k}} \quad 7)$$

ergibt sich

$$Q_{k,s} = -\frac{1}{h_k}\,\frac{\alpha_{k+1} - \alpha_k}{\nu_{k+1} - \nu_k}. \quad 8)$$

Ferner wird

$$\Delta_k \left(\frac{1}{n\,s}\right) = \frac{1}{n_{k+1} s'_k} - \frac{1}{n_k s_k} = \frac{1}{h_k} (\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k). \qquad 9)$$

Die Größen α_k sind proportional den Achsenneigungswinkeln des vom Objektpunkt kommenden Zentralstrahls. Zur weiteren Vereinfachung kann der Proportionalitätsfaktor stets so gewählt werden, daß h_1 (und ebenso später y_1) $= 1$ wird.

Man erhält dann

$$t_k = h_k \left(\frac{\alpha_{k+1} - \alpha_k}{\nu_{k+1} - \nu_k}\right)^2 (\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k). \qquad 10)$$

Führt man weiter ein

$$\beta_k = \frac{y_k}{x_k} = \frac{y_{k-1}}{x'_{k-1}}, \qquad 11)$$

so wird analog

$$Q_{k\,x} = -\frac{1}{y_k} \frac{\beta_{k+1} - \beta_k}{\nu_{k+1} - \nu_k}. \qquad 12)$$

Aus den Durchrechnungsformeln folgt

$$-r_k = \frac{h_k(\nu_{k+1} - \nu_k)}{\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k} = \frac{y_k (\nu_{k+1} - \nu_k)}{\nu_k \beta_{k+1} - \nu_{k+1} \beta_k} \qquad 13)$$

und für die Achsendicken d

$$d_k = \frac{h_k - h_{k+1}}{\alpha_{k+1}} = \frac{y_k - y_{k+1}}{\beta_{k+1}}. \qquad 14)$$

Gl. 14) kann auch in der Form geschrieben werden

$$h_k \beta_{k+1} - y_k \alpha_{k+1} = h_{k+1} \beta_{k+1} - y_{k+1} \alpha_{k+1} \qquad 15)$$

und Gl. 13) in der Form

$$\nu_k (h_k \beta_{k+1} - y_k \alpha_{k+1}) = \nu_{k+1} (h_k \beta_k - y_k \alpha_k). \qquad 16)$$

Setzt man

$$h_k \beta_k - y_k \alpha_k = \varepsilon_k \qquad 17) \qquad\qquad h_k \beta_{k+1} - y_k \alpha_{k+1} = \varepsilon'_k, \qquad 18)$$

so ergibt sich für die ε das Bildungsgesetz

$$\varepsilon'_k = \varepsilon_{k+1} \qquad 19) \qquad\qquad \nu_k \varepsilon'_k = \nu_{k+1} \varepsilon_k, \qquad 20)$$

also

$$\varepsilon_{k+1} = \frac{\nu_{k+1}}{\nu_k} \varepsilon_k = \nu_{k+1} \frac{\varepsilon_1}{\nu_1} = -\nu_{k+1} k, \qquad 21)$$

wo k mit der in Gl. 4) eingeführten Größe k identisch ist.

Zur Bestimmung der Größen h und y hat man nun die beiden Gleichungen [aus 17) und 18)]

$$h_k \beta_k - y_k \alpha_k = -k \nu_k \qquad 22) \qquad\qquad h_k \beta_{k+1} - y_k \alpha_{k+1} = -k \nu_{k+1}, \qquad 23)$$

woraus folgt

$$h_k = \frac{-k(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)}{\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k} \qquad 24) \qquad\qquad y_k = -\frac{-k(\nu_k \beta_{k+1} - \nu_{k+1} \beta_k)}{\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k}. \qquad 25)$$

Unter Benutzung des Wertes von h_k aus Gl. 24) erhält man in Verbindung mit Gl. 3) und Gl. 13)

$$P_k = \frac{1}{k} (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k). \qquad 26)$$

Ferner wird

$$u_k = \frac{\beta_{k+1} - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \alpha_k}, \qquad 27)$$

und die Gleichungen für die Korrektion der Seidelschen Fehler lauten nun

1. Sphärische Korrektion

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)(\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)(\alpha_{k+1} - \alpha_k)^2}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2 (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)} = 0 \qquad 28)$$

2. Korrektion der Koma

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)(\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)(\alpha_{k+1} - \alpha_k)(\beta_{k+1} - \beta_k)}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2 (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)} = 0 \qquad 29)$$

3. Sagittale Bildebenung

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)(\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)(\beta_{k+1} - \beta_k)^2}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2 (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)}$$

$$+ \sum_{k=1}^{k=m} (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k) = 0 \qquad 30)$$

4. Petzval-Bedingung

$$\sum_{k=1}^{k=m} (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k) = 0 \qquad 31)$$

5. Korrektion der Verzeichnung

$$\sum_{=}^{k=m} \frac{(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)(\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)(\beta_{k+1} - \beta_k)^3}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2 (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)(\alpha_{k+1} - \alpha_k)}$$

$$+ \sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)(\beta_{k+1} - \beta_k)}{\alpha_{k+1} - \alpha_k} = 0. \qquad 32)$$

Es ist noch der Nachweis der direkten praktischen Verwendbarkeit des entwickelten Formelsystems zu führen. Zu diesem Zwecke soll als Beispiel der am häufigsten vorkommende Fall, daß sämtliche Dicken gleich Null sind, betrachtet werden. Dann haben alle h und y den Wert 1 und die Gl. 24) und 25) führen zu den folgenden:

$$\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k = -k(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k) \qquad 33)$$

$$\nu_{k+1} \beta_k - \nu_k \beta_{k+1} = -(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k), \qquad 34)$$

woraus sich ergibt

$$\beta_k = \alpha_k - k \nu_k \quad 35) \qquad \beta_{k+1} = \alpha_{k+1} - k \nu_{k+1}. \qquad 36)$$

Man erhält weiter

$$\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k = -k(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k) \qquad 37)$$

$$\beta_{k+1} - \beta_k = (\alpha_{k+1} - \alpha_k) - k(\nu_{k+1} - \nu_k) \qquad 38)$$

$$u_k = 1 - k \cdot \frac{\nu_{k+1} - \nu_k}{\alpha_{k+1} - \alpha_k}, \qquad 39)$$

und die Gl. 28) bis 32) nehmen die Gestalt an:

1. Sphärische Korrektion

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1}-\alpha_k)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k)}{(\nu_{k+1}-\nu_k)^2} = 0 \tag{40}$$

2. Komakorrektion

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1}-\alpha_k)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k)}{(\nu_{k+1}-\nu_k)^2} - k\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1}-\alpha_k)(\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k)}{\nu_{k+1}-\nu_k} = 0 \tag{41}$$

3. Sagittale Bildebenung

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1}-\alpha_k)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k)}{(\nu_{k+1}-\nu_k)^2} - 2k\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1}-\alpha_k)(\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k)}{\nu_{k+1}-\nu_k}$$
$$+ k^2(\nu_{m+1}\alpha_{m+1}-\nu_1\alpha_1) + k^2\sum_{k=1}^{k=m}(\nu_k\alpha_{k+1}-\nu_{k+1}\alpha_k) = 0 \tag{42}$$

4. Petzval-Bedingung

$$\sum_{k=1}^{k=m}(\nu_k\alpha_{k+1}-\nu_{k+1}\alpha_k) = 0 \tag{43}$$

5. Korrektion der Verzeichnung

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1}-\alpha_k)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k)}{(\nu_{k+1}-\nu_k)^2} - 3k\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1}-\alpha_k)(\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k)}{\nu_{k+1}-\nu_k}$$
$$+ 3k^2(\nu_{m+1}\alpha_{m+1}-\nu_1\alpha_1) - k^3\sum_{k=1}^{k=m}\frac{(\nu_{k+1}-\nu_k)(\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k)}{\alpha_{k+1}-\alpha_k}$$
$$+ k^2\sum(\nu_k\alpha_{k+1}-\nu_{k+1}\alpha_k) - k^3\sum\frac{(\nu_{k+1}-\nu_k)(\nu_k\alpha_{k+1}-\nu_{k+1}\alpha_k)}{\alpha_{k+1}-\alpha_k} = 0. \tag{44}$$

Hiernach soll die oft behandelte Aufgabe der Vorrechnung eines dickenlosen, zweilinsig unverkitteten, auf sphärische Aberration, Koma und chromatischen Fehler zu korrigierenden Fernrohrobjektivs behandelt werden.

Die Gleichung für die Achromasie eines dickenlosen Systems lautet nach M. v. Rohr

$$\sum_{k=1}^{k=m} Q_{\nu,s}\, \varDelta_\nu \frac{dn}{n} = 0, \tag{45}$$

die mit den hier gewählten Größen zu schreiben wäre

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{\alpha_{k+1}-\alpha_k}{\nu_{k+1}-\nu_k}(\nu_{k+1}\,dn_{k+1}-\nu_k\,dn_k) = 0. \tag{46}$$

Die Gleichung der sphärischen Korrektion lautet im vorliegenden Falle

$$\sum_{k=1}^{k=4}\left(\frac{\alpha_{k+1}-\alpha_k}{\nu_{k+1}-\nu_k}\right)^2(\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k) = 0, \tag{47}$$

und die Gleichung der Komakorrektion bekommt die einfache Gestalt

$$\sum_{k=1}^{k=4}\frac{\alpha_{k+1}-\alpha_k}{\nu_{k+1}-\nu_k}(\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k) = 0. \tag{48}$$

Beschreibung einer von der Firma Siemens & Halske ausgeführten Neukonstruktion.

In der Erkenntnis, daß die Empfindlichkeitserhöhung von Drehspul-Galvanometern auf der Verwendung kleiner Direktionskräfte beruht, hat sich die Firma Siemens & Halske A.-G. in Berlin-Nonnendamm der dankenswerten Aufgabe unterzogen, ein Instrument mit beträchtlich kleinerer Direktionskraft herzustellen, als bisher üblich war. Während bei dem von Jaeger 1908 beschriebenen, von derselben Firma ausgeführten Instrument $D = 0{,}6$ betrug, ist bei dem neuen die Direktionskraft auf den Wert $D = 0{,}189$ gebracht. Eine Hilfsdämpfung ist nicht vorgesehen, sodaß bei der Kleinheit der Luftdämpfung $\eta = 0$ gesetzt werden kann. Die (ganze) ungedämpfte Schwingungsdauer ist $T = 4$ Sek., der zur Aperiodizität erforderliche äußere Widerstand $W_a{}^* = 133$ Ohm, der Widerstand der Zuleitung $W_1{}^* = 23$ Ohm, der Spulenwiderstand $W_0{}^* = 24$ Ohm, also der aperiodische Grenzwiderstand $W^* = 180$ Ohm. Diesen Daten entspricht die Spannungsempfindlichkeit $P = 6{,}1 \cdot 10^{-6}$ oder der Voltausschlag $P^* = 1{,}22 \cdot 10^6$, d. h. eine elektromotorische Kraft von 10^{-6} Volt gibt an einer 1 *m* entfernten Skale einen Ausschlag von 1,22 *mm*.

Der Ampere-Ausschlag ist $S^* = 2{,}20 \cdot 10^8$, d. h. ein Strom von 10^{-8} Amp. gibt an einer um 1 *m* entfernten Skale einen Ausschlag von 2,20 *mm*.

Das Instrument ist bereits empfindlicher als das von du Bois und Rubens[1]) angegebene Kugel-Panzergalvanometer mit dem schwereren Magnetsystem bei derselben Schwingungsdauer, welches etwa die gleiche Spiegelgröße besitzt (8 *mm*). Wenn man bei diesem, wie es am günstigsten ist, den inneren gleich dem äußeren Widerstand W_a macht, so wird der Volt-Ausschlag

$$P^* = \frac{C T^2}{\sqrt{W_a{}^*}}, \quad \text{wo} \quad C = 0{,}4 \cdot 10^6, \tag{61}$$

und der Ampere-Ausschlag

$$S^* = 2 C T^2 \sqrt{W_a{}^*}. \tag{62}$$

Für $W_a{}^* = 133$ Ohm und $T = 4$ Sek. liefert die Formel 61) $P^* = 0{,}55 \cdot 10^6$, also nicht die halbe Empfindlichkeit des Drehspulinstrumentes. Würde dieses mit der gleichen Direktionskraft für größere Schwingungsdauern konstruiert sein, so würde sich allerdings das Verhältnis von $T = 6{,}7$ Sek. an umkehren, weil die Empfindlichkeit des Kugelpanzergalvanometers mit T^2, die des Drehspulinstrumentes nur mit $\sqrt{T}$ wächst.

Das Modell ist von der Firma völlig anders ausgebildet als das ihrer bekannten Instrumente. Das ganze Galvanometer hat nur eine Höhe von 22 *cm* und ein Gewicht von 1100 Gramm und ist daher bequem in einem beigefügten Transportkasten zu tragen. Es läßt sich ebenso wie die älteren Instrumente ohne weiteres auf jedem festen Tische aufstellen und mit Hilfe einer Libelle einrichten. Der Nullpunkt steht nicht so völlig ruhig wie bei den älteren Modellen, aber doch für Fernrohrablesungen ausreichend. Eine Juliussche Aufhängung ist keineswegs nötig.

Aus den angegebenen Daten folgt $n^2 = \frac{W}{W_0} = 7{,}5$, also $n = 2{,}74$. Für die Spulendimensionen gilt ungefähr $R = 0{,}45$, $a = 3{,}5$, $\beta = 0{,}1$.

Dann wird nach Gl. 46) und 47) $\Phi = 1{,}16$ und $\Theta = 1{,}36$. Wegen des zu erwartenden dünneren Drahtdurchmessers, also relativ höheren Bespinnungsgewichtes, setzen wir $s = 9{,}5$ und erhalten damit aus

Gl. 49a) $H_0 = \frac{294}{\sqrt{x}}$ und daher $H = n H_0 = \frac{805}{\sqrt{x}}$.

---

[1]) H. du Bois und H. Rubens, *diese Zeitschr.* **20.** *S. 65. 1900.*

Die Feldstärke selbst und ebenso x konnte an dem fertigen Instrument nicht bestimmt werden, jedenfalls aber ist $H > 805$. Da man nach der ganzen Konstruktion des Instrumentes erwarten kann, daß die Feldstärke geringer ist als bei den früheren Modellen, wo sie etwa 1500 *C.G.S.* betrug, und da die Spule zwar ohne Rahmen gewickelt ist, aber doch einige feste Teile von merklichem Trägheitsmoment besitzt, sodaß x etwas von 1 verschieden ist, so nehmen wir an $H = 1000$ *C.G.S.* und dementsprechend $H_0 = 365$ und $x = 0{,}805^2 = 0{,}65$.

Mit diesem Wert finden wir nach Gl. 53a) $2r = 0{,}077$ *mm* und nach 54a) $N = 74$ Windungen.

Würde das Galvanometer zu dem früheren Magnetmodell mit größerem R konstruiert sein, welches den ersten Zahlenbeispielen zugrunde gelegt ist, so hätte man für den gleichen Wert $x = 0{,}65$ trotz der $1^1/_2$-fachen Feldstärke $H = 1500$ einen noch dünneren Draht erhalten, nämlich $2r = 0{,}052$ *mm* und die Windungszahl $N = 18$.

Würde das neue Modell mit $H = 1000$, $x = 0{,}65$, $T = 4$ Sek., $\eta = 0$, $D = 0{,}189$, $W_1{}^* = 23$ Ohm für den äußeren Widerstand $W_a{}^* = 10$ Ohm konstruiert sein, so bliebe $H_0 = 365$, weil diese Grenze nach Gl. 49) unabhängig von W_a ist, und damit bliebe auch $n^2 = 7{,}5$. Es würde also der Spulenwiderstand $W_0{}^* = \frac{W_a{}^* + W_1{}^*}{n^2 - 1} = 5{,}08$ Ohm und $W^* = 38{,}08$ Ohm. Hiermit erhielte man eine beträchtlich größere Drahtstärke: $2r = 0{,}113$, und eine kleinere Windungszahl: $N = 34$.

Nach Gl. 34) erhielte man die Spannungsempfindlichkeit $P = 1{,}33 \cdot 10^{-5}$, also den Volt-Ausschlag: $P^* = 2 \cdot 10^{11} P = 2{,}66 \cdot 10^6$ und den Ampere-Ausschlag $S^* = 1{,}01 \cdot 10^8$.

Das Instrument würde sehr geeignet sein für stärkere Astasierungen. Mit 9-facher Astasierung würde nach Schema III die (ganze) Schwingungsdauer 12 Sek., der aperiodische Grenzwiderstand $W^* = 114{,}2$ Ohm, also der zur Verfügung stehende äußere Widerstand $W_a{}^* = 114{,}2 - 23 - 5{,}08 = 86{,}1$ Ohm, der Volt-Ausschlag $P^* = 8{,}0 \cdot 10^6$ und der Ampere-Ausschlag $S^* = 9{,}1 \cdot 10^8$.

Das Kugelpanzergalvanometer mit $T = 12$ Sek. und $W_a{}^* = 86{,}1$ Ohm würde nach Gl. 61) den Volt-Ausschlag $P^* = 6{,}2 \cdot 10^6$ und nach Gl. 62) den Ampere-Ausschlag $S^* = 10{,}7 \cdot 10^8$ ergeben. Für Spannungsmessungen würde also das Drehspulinstrument empfindlicher sein.

Zusammenfassung.

1. Es werden die bekannten allgemeinen Formeln für Rechnungen an Drehspulgalvanometern zusammengestellt. [Gl. 1) bis 11), Schema I und II.]

2. Es wird die folgende Aufgabe gestellt: Ein Drehspulgalvanometer soll vorgeschriebene Schwingungsdauer und Dämpfung im offenen Kreis haben, bei einem gegebenen äußeren Widerstand aperiodisch werden und im Grenzzustande möglichst große Spannungsempfindlichkeit besitzen. Es sind sämtliche Konstruktionsdetails zu berechnen.

3. Je kleiner die Direktionskraft, desto größer ist die Empfindlichkeit. Es wird daher eine bestimmte Direktionskraft als praktisch gegeben zugrunde gelegt.

4. Die Bedeutung der Matherschen Spulenform wird dahin präzisiert, daß sie erlaubt, den Spulendraht möglichst dick zu halten.

5. Die Berechnung der Mather-Spulen-Galvanometer nebst einem Zahlenbeispiel wird vollständig durchgeführt.

6. Bei Galvanometern mit Mather-Spulen treten infolge der Magnetisierbarkeit des Spulenmaterials magnetische Richtkräfte auf, die wegen der Hysterese zu Nullpunktsstörungen Veranlassung geben können. Diese Störungen treten nicht auf bei der Konstruktion mit radialem Magnetfeld (Spule um einen Eisenkern beweglich),

sodaß hier höhere Feldstärken angewandt werden dürfen, die den Vorteil der Mather-Spule wettmachen können.

7. Die Berechnung der Spulen für radiales Magnetfeld nebst Zahlenbeispiel wird vollständig durchgeführt.

8. Die Feldstärke muß oberhalb einer unteren Grenze liegen, die von der zugrunde gelegten Direktionskraft und dem vorgeschriebenen äußeren Widerstand unabhängig und der Wurzel aus der Schwingungsdauer umgekehrt proportional ist.

9. Der aperiodische Grenzwiderstand verhält sich zum Spulenwiderstand wie das Quadrat der Feldstärke zum Quadrat ihrer unteren Grenze.

10. Die Wahl der Spulenform und Dimensionen, eines Rahmens für die Spule, des Drahtmaterials (Eisenfreiheit vorausgesetzt), der Umspinnung ist gleichgültig, solange die Berechnung praktisch herstellbare Drahtstärken ergibt.

11. Der Einfluß der einzelnen Bestimmungsstücke auf die Drahtstärke und die Windungszahl wird diskutiert.

12. Eine Hilfsdämpfung soll nicht durch den Rahmen oder besondere Spulenwindungen, sondern durch einen abschaltbaren Nebenschluß zum Galvanometer bewirkt werden.

13. Die Astasierung nach dem Verfahren von Reinganum ist zu empfehlen; die Galvanometer sollten mit einer besonderen Vorrichtung dazu ausgerüstet sein.

14. Ein von der Firma Siemens & Halske A.-G. in Berlin ausgeführtes Drehspul-Galvanometer mit sehr kleiner Direktionskraft, also großer Empfindlichkeit, und von nur 1,1 *kg* Gesamtgewicht wird beschrieben, und andere Ausführungsmöglichkeiten desselben Modells werden besprochen.

Referate.

Ein reduzierendes Doppelbild-Tachymeter.

Von F. Aubell. *Österr. Zeitschr. f. Vermess.* ***8.*** *S. 35, 67, 118, 145, 197, 231. 1910.*

Der Verf. schickt eine Einteilung der „Entfernungsmesser“ überhaupt voraus, wobei er die zwei Hauptklassen der „basisführenden“ und der „winkelführenden“ Entfernungsmesser unterscheidet; der ersten Klasse sollen gleichwertig sein die „Entfernungsmesser ohne Latte“ (die man wohl am besten als Telemeter bezeichnet), der zweiten die „Entfernungsmesser mit Latte“. Die Einteilung ist aber nicht ganz durchgreifend; und die den zwei Klassen als gleichwertig vorgeschlagene Unterscheidung „parallaktischer“ und „diastimometrischer“ Entfernungsmesser geht jedenfalls nicht an, denn Parallaxendistanzmesser sind *alle* die Vorrichtungen, die der Verf. bespricht.

In der zweiten Klasse, bei den „winkelführenden“ Entfernungsmessern wird dann weiter eingeteilt nach der Art der Herstellung des zur Entfernungsmessung verwendeten mikrometrischen Winkels am Instrument: „optische“ Entfernungsmesser im eigentlichen Sinn (1. Gruppe) will der Verf. solche Konstruktionen nennen, bei denen eine bestimmte Fernrohrkonstruktion den diastimometrischen Winkel liefert (zwei Arten: Fadendistanzmesser und Doppelbilddistanzmesser im engern Sinn), während der Name Kippdistanzmesser (2. Gruppe den Konstruktionen gegeben werden soll, bei denen zwei Fernrohreinstellungen angewandt werden, zwischen denen die Neigung der Ziellinie um einen kleinen Betrag aufwärts oder abwärts verändert wird.

Der Verf. bespricht sodann im III. Abschnitt die bisherigen Konstruktionen von Doppelbildentfernungsmessern auf dioptrischer und katoptrischer Grundlage, um erst im IV. auf sein eigenes Doppelbildtachymeter im Sinn eines selbst reduzierenden Instruments überzugehen. Es hat ein nach dem Prinzip des Bouguerschen Heliometers eingerichtetes Fern-

rohr, in dem das Objektiv halbiert ist und die zwei Objektivhälften gegen einander verschoben sind. Indessen handelt es sich nicht, wie beim Heliometer, um Schraubenmessung dieser veränderlichen Verschiebung, vielmehr ist hier diese Verschiebung konstant; die zwei um einen konstanten Betrag gegen einander verschobenen Objektivhälften sind unveränderlich miteinander verbunden, um einen *konstanten* Mikrometerwinkel scharf zu liefern. Der Messungsvorgang hat also nicht die Beobachtung eines mit der Entfernung der Latte veränderlichen Winkels zum Ziel, sondern die Bestimmung eines mit der Entfernung sich ändernden Lattenabschnitts. Für die Doppelobjektiv-Konstruktion ist ebensogut wie für die übrigen „winkelführenden" Entfernungsmesser ein „anallaktischer" Punkt vorhanden, von dem aus, bei horizontaler Zielung, die Entfernungen bis zur Latte dem Lattenabschnitt proportional sind. Bei dem Fernrohr des Verf. sind die zwei Objektivhälften um $^1/_{100}$ der Brennweite vertikal gegen einander verschoben, das linke Halbobjektiv höher als das rechte; auch horizontal sind die zwei Objektivhälften etwas auseinander gerückt, um $^1/_{200}$ der Brennweite, damit nicht die zwei Lattenbilder an derselben Stelle des Gesichtsfelds erscheinen und sich gegenseitig stören. Der anallaktische Punkt des Fernrohrs wird nun als erster Hauptpunkt des rechten Halbobjektivs nachgewiesen; damit ist auch die Additionskonstante des entfernungsmessenden Fernrohrs klein, beim Fernrohr des Verf. z. B. rund 0,1 *m*, sodaß sie in der Regel ganz wird vernachlässigt werden können. Bei dem neuen Instrument ist der „Höhenkreis nach der unteren Visur justiert"; ist μ der konstante mikrometrische Winkel, $C = \operatorname{cotg} \mu$, α der der unteren Visur entsprechende Höhenwinkel und L der abgelesene Lattenabschnitt, so wird Horizontaldistanz E vom Mittelpunkt des Instruments bis zur Latte und Höhenunterschied h zwischen Kippachse und unterem Lattenpunkt aus folgenden Gleichungen erhalten:

$$\left.\begin{aligned} E &= (C \cdot L + c) \cos^2 \alpha \, (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \mu) \\ h &= (C \cdot L + c) \sin \alpha \cos \alpha \, (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \mu). \end{aligned}\right\} \quad 1)$$

Setzt man

$$L' = \frac{C \cdot L + c}{100} \quad \text{oder wegen} \quad c = 0{,}1$$

$$L' = \left(L + \frac{1}{1000}\right) \cdot \frac{C}{100} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \mu = \frac{1}{100}, \quad 2)$$

so wird

$$\left.\begin{aligned} E &= 100\, L' \cos^2 \alpha \left(1 - \frac{1}{100} \operatorname{tg} \alpha\right) \\ h &= 100\, L' \sin \alpha \cos \alpha \left(1 - \frac{1}{100} \operatorname{tg} \alpha\right). \end{aligned}\right\} \quad 3)$$

Die Gleichungen sind also etwas weniger einfach gebaut als beim gewöhnlichen Fadendistanzmesser.

Das Instrument, nach den Angaben von Aubell von R. & A. Rost in Wien ausgeführt, unterscheidet sich von einem Universal nur im Fernrohr; Horizontalkreis 13 *cm*, Teilung $^1/_3{}^0$, durch zwei Skalenmikroskope nach Bedarf 1' oder 0,1'; Höhenkreis 11 *cm*, Teilung in $^1/_6{}^0$, durch zwei Nonien 20". Die sehr enge Teilung des Höhenkreises ist gewählt, damit man auch durch *Schätzung* am Noniusnullpunkt des Höhenkreises nach Wunsch oder Bedarf unmittelbar auf 1' ablesen kann (das ließe sich aber auch bei $^1/_3{}^0$-Teilung ebensogut machen; die Teilstriche, die sich bei $^1/_6{}^0$-Teilung in 0,16 *mm* Entfernung folgen, hätten bei $^1/_3{}^0$-Teilung wenigstens nahe 0,32 *mm* Abstand, und hieran ist viel leichter zu schätzen). Die Öffnung des bisezierten Fernrohrobjektivs ist 37 *mm* (sehr groß, damit auch durch die *halbe* Objektivfläche die Helligkeit des Bildes genügend wird), die Brennweite 200 *mm*, die Vergrößerung 24 durch ein orthoskopisches Okular. Die Halbobjektive in der Vertikalverschiebung von $^1/_{100}$ der Brennweite = 2,00 *mm* müssen sehr gut fest gegen einander bleiben; der Verf. glaubt, daß bei seiner Anordnung die Beständigkeit der Multiplikationskonstanten sicherer verbürgt sei als bei den Fadendistanzmessern, ja es scheint, das ihn diese Überlegung überhaupt zu dem Versuch der neuen Konstruktion geführt hat. Für die Konstanten seiner jetzigen Ausführung des Instruments findet der Verf. $C_{(\mu)} = 99{,}62$ (statt 100) $\pm$ 0,02, c genügend

= 0,1 *m*. Die Anordnung, daß das Objektiv um meßbare Winkel gedreht werden kann, bietet die Möglichkeit, die Hauptkonstante (Vertikalhauptkonstante) genau auf 100 abzustimmen.

Der letzte Abschnitt behandelt das Doppelbildtachymeter als selbsttätiges Reduktionsinstrument für horizontale Entfernung und Höhenunterschied, weist übrigens nach allgemeinen Bemerkungen über die bisher konstruierten „Reduktionstachymeter“ (Kontakttachymeter, Schiebetachymeter und Tachymeter mit „reduzierenden“ Fernrohrkonstruktionen) für das neue Instrument nur die *Möglichkeit* der Einrichtung zur unmittelbaren Ablesung von Horizontaldistanz und Höhenunterschied nach, ohne daß die Einrichtungen am Instrument bereits durchgeführt wären; es wird hier noch große Schwierigkeiten zu überwinden geben. Es können deshalb selbstverständlich auch Versuchsmessungen mit einem wirklich dem Titel der Arbeit des Verf. entsprechenden Instrument nicht mitgeteilt werden; hierauf käme es aber gerade an.

Hoffentlich wird der Verf. der vorliegenden interessanten Studie über das Doppelbildtachymeter bald in der Lage sein, über die Vervollständigung des Instruments in der von ihm angestrebten Richtung und über Versuchsmessungen zu berichten. Der Ref. glaubt allerdings nicht, daß es dem nach dem Heliometerprinzip eingerichteten Doppelbild-Entfernungsmesser in irgend einer Form, reduzierend oder nicht, beschieden sein wird, das gewöhnliche „entfernungsmessende Fernrohr“ mit festen Fäden in nennenswertem Umfang zu verdrängen.

Hammer.

Theorie der Quecksilber-Kompensation in den Pendeln astronomischer Uhren.

Von H. Stroele. *Bull. Soc. Neuchâteloise des Sciences naturelles* **37.** *S. 209—309. 1910.*

Im ersten Kapitel dieser sehr verdienstvollen Arbeit führt Verf. die bisher gebräuchlichen Formeln zur Berechnung der zur Kompensation eines Quecksilberpendels nötigen Quecksilbermenge auf, wobei er insbesondere über eine noch bis zum heutigen Tage „in vielen ausgezeichneten Werken“ immer wiederkehrende total unsinnige, auf einem groben Überlegungsfehler beruhende Formel ($h = \frac{1}{r}\sqrt{\frac{2\,l\,\alpha}{\pi\,\varepsilon}}$, wo h die Höhe der Quecksilbersäule r den Radius des Quecksilbergefäßes, l die reduzierte Pendellänge, α den Ausdehnungskoeffizienten der Stange und ε den „scheinbaren Ausdehnungskoeffizienten“ des Quecksilbers bedeutet) ein scharfes, aber immer noch vielleicht zu mildes Urteil fällt; daß ein solches kritikloses Abschreiben einer Formel, auf deren Fehlerhaftigkeit schon Lorenzoni 1879 aufmerksam gemacht hat, noch bis in die neueste Zeit geübt wird, stellt der „wissenschaftlichen“ Uhrmacherei kein rühmliches Zeugnis aus. Nach Besprechung einiger gut brauchbarer Näherungsformeln (von Keelhoff, Lorenzoni und dem Verf. selbst) wird im zweiten Kapitel zur strengen Kompensationsrechnung übergegangen und, ausgehend von einer Arbeit des Ref. (*Astron. Nachr. Nr. 3967/68. 1904*), gezeigt, daß die strenge Rechnung sich sehr bequem gestalten läßt, sodaß eine Näherungsrechnung eigentlich ganz überflüssig ist. Die Anwendung dieser strengen Formel wird nicht nur auf bereits bekannte Pendeltypen ausgedehnt, sondern es werden noch einige interessante neue Formen mit z. T. kugelförmigem Quecksilbergefäß durchgerechnet, wobei Verf. auch auf das Problem eingeht, ein Pendel mit einem Minimum von Quecksilber zu kompensieren. Im dritten Kapitel wird der Einfluß der Temperaturschichtung untersucht und statt der strengen vom Ref. (*a. a. O.*) entwickelten Theorie eine Näherungsmethode abgeleitet, die für die Rechnung viel bequemer ist, ohne eine praktisch bedeutsame Einbuße an Genauigkeit zur Folge zu haben. Während der Ref. nachgewiesen hatte, daß sich mit Stahl und Quecksilber in zylindrischem Gefäß kein brauchbares Pendel herstellen läßt, das außer für Temperatur auch für Temperaturschichtung kompensiert wäre, weist Verf. die interessante Möglichkeit nach, durch Aufgeben dieser einfacheren Form ein Pendel zu konstruieren, das jenen Anforderungen genügt. Dieses Pendel kann man sich aus dem Rieflerschen Quecksilberpendel dadurch entstanden denken, daß das Rieflersche Quecksilberrohr in der Mitte der reduzierten Pendellänge in ein weiteres Quecksilbergefäß mündet; in dieses Gefäß taucht sodann wie beim Gefäßbarometer ein zweites, unten offenes,

oben in ein kugelförmiges, völlig mit Quecksilber gefülltes Gefäß endigendes Rohr von gleicher Weite wie das untere. Im vierten Kapitel wird der Einfluß der umgebenden Luft auf den Temperaturkoeffizienten im Anschluß an die Arbeiten von C. Wolf untersucht und der Nachweis geführt, daß dieser Einfluß praktisch sehr merklich und namentlich insofern von großer Bedeutung ist, als ein in freier Luft kompensiertes Pendel in hermetisch abgeschlossenem Raum einen sehr merklichen Temperaturkoeffizienten zeigen muß und umgekehrt. Die schöne Arbeit schließt mit einer kurzen Zusammenstellung der Hauptresultate und einem Literaturverzeichnis. *B. Wanach.*

Zeitgebung durch drahtlose Telegraphie.

Von B. Baillaud. *Rapport annuel sur l'état de l'observatoire de Paris pour l'année 1910. S. 23. Paris 1911.*

Einige neue Anwendungen der drahtlosen Telegraphie.

Von Ferrié. *Journ. de phys.* **1.** *S. 178. 1911.*

Diese beiden Veröffentlichungen geben eine Beschreibung der Einrichtungen, die getroffen worden sind, um mittels der Eiffel-Turm-Station funkentelegraphische Zeitsignale abzugeben. Sie umfassen zwei Gruppen von Apparaten, diejenigen der Sternwarte Paris und diejenigen der funkentelegraphischen Militärstation des Eiffel-Turms.

Auf der Sternwarte sind zwei gleiche Pendeluhren von Leroy mit Nickelstahlpendel aufgestellt, deren jede zur automatischen Abgabe der Zeitsignale auf folgende Weise eingerichtet ist. An isolierten, mit dem Gehäuse fest verschraubten Metallstücken sind zwei parallel zueinander verlaufende Blattfedern mit ihrem einen Ende befestigt. In der Nähe des anderen, freien Endes tragen sie zwei sich in geringem Abstande gegenüberstehende Kontaktplatten aus Platin. Ferner hat die eine Feder einen Vorsprung, der einer auf dem Sekundenrade der Uhr montierten Scheibe gegenüber steht. Diese Scheibe trägt einen Zahn, der bei jedem Umlaufe des Rades einmal gegen den Vorsprung der Feder drückt, wodurch die Feder an die andere Feder angedrückt und der Kontakt geschlossen wird. Der Zahn auf dem Sekundenrade ist so angeordnet, daß der Stromschluß gerade zur Sekunde Null erfolgt. Damit jedoch nicht zu jeder vollen Minute der Strom geschlossen wird, sind die beiden Federn für gewöhnlich durch zwei auf einem langen Hebel befestigte Stifte aus ihrer Ruhelage zur Seite gebogen, sodaß der Zahn des Sekundenrades an dem Federvorsprung vorbeigehen kann, ohne ihn zu berühren und ohne daher einen Kontaktschluß herbeizuführen.

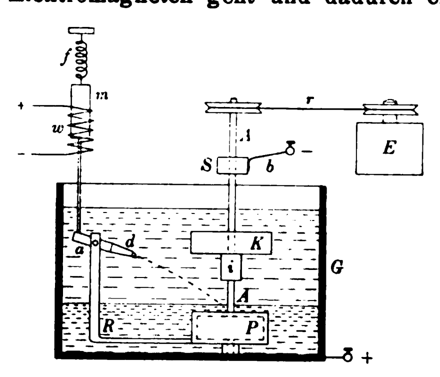
Der lange Hebel trägt zwei Zähne, die zwei Scheiben gegenüber stehen, von denen die eine auf dem Minutenrade, die andere auf einem Tagesrade (eine Umdrehung in 24 Stunden) befestigt ist. Diese Scheiben haben Kerben, in die sich die Zähne des Hebels einlegen können, und zwar entsprechen die drei Kerben des Minutenrades den Minuten 0, 2 und 4, die beiden des Tagesrades den Stunden 11^h vormittags und Mitternacht. Für gewöhnlich schleifen entweder die beiden Zähne des Hebels oder wenigstens einer von ihnen auf dem Umfang der zugehörigen Scheibe, sodaß der Hebel nicht einfallen kann und durch die Stifte, die er an seinem Ende trägt, auch die Blattfedern aus ihrer Ruhelage zur Seite gebogen erhält. Zu denjenigen Zeiten jedoch, wo die beiden Zähne des Hebels sich gleichzeitig Einkerbungen der beiden Scheiben gegenüber befinden, kann der Hebel einfallen. Er gibt alsdann die beiden Blattfedern frei, und durch das Sekundenrad wird nun zur Sekunde Null der Kontakt geschlossen. Nach der Anordnung der Kerben auf dem Minuten- und dem Tagesrade tritt dieser Fall nur 0, 2 und 4 Minuten nach Mitternacht und 11^h vorm. ein, sodaß $0^h\,0^m\,0^s$, $0^h\,2^m\,0^s$, $0^h\,4^m\,0^s$ und $11^h\,0^m\,0^s$, $11^h\,2^m\,0^s$, $11^h\,4^m\,0^s$ die Signalzeiten sind. Der durch die Federn geschlossene Strom wird durch eine Telephonleitung nach dem Eiffel-Turm geleitet und löst dort in der weiter unten beschriebenen Weise die Funkenstrecke aus.

Um schnell den Stand der Uhren korrigieren zu können, was vor Abgabe der Signale erforderlich ist, da die Signale das Zehntel der Sekunde richtig anzeigen sollen, befindet sich an der Pendelstange ein Stabmagnet, der über einer feststehenden Spulenwicklung schwingt. Ein Umschalter gestattet, dem Stabmagneten entweder einen gleichnamigen oder einen un-

gleichnamigen Pol gegenüberzustellen. Im ersteren Falle tritt eine Beschleunigung des Uhrgangs ein, im zweiten ein Zurückbleiben. Ein Strom von 1 Amp. Stärke ruft in 6 Minuten eine Standänderung von 1^s hervor.

Vor den automatischen Signalen werden Ankündigungssignale von Hand gegeben, und zwar von der Form — — — vor der Minute Null, von der Form —·· —·· —·· vor der Minute zwei und von der Form —···· —···· —···· vor der Minute vier. Sie werden jedesmal 55^s lang abgegeben und hören 5^s vor dem eigentlichen Zeitsignal auf.

Die ankommenden Ströme betätigen auf der funkentelegraphischen Station ein Relais, das den Strom einer kleinen Akkumulatorenbatterie schließt, der durch die Wicklungen *w* eines Elektromagneten geht und dadurch ein Schwachstrom-Starkstrom-Relais in Tätigkeit setzt (vgl. die Figur). Dieses Relais besteht aus einem gußeisernen Gefäß *G*, das halb mit Quecksilber und halb mit 95-prozentigem Alkohol gefüllt ist. In dem Gefäß läuft eine Achse *AA*, die durch einen Elektromotor *E* mittels zweier Nutenräder und des Riemens *r* in schnelle Rotation versetzt wird. Die Achse ist durch ein Isolierstück *i* in zwei Teile geteilt, der untere trägt eine Rotationspumpe *P*, der obere eine Kupferscheibe *K* und einen Schleifring *S*, dem der Strom durch eine Bürste *b* zugeführt wird, die mit dem einen Pol des Erregerstromkreises verbunden ist. Durch die Pumpe wird das Quecksilber in das Rohr *R* und den drehbaren Arm *a* gedrückt, aus dem es durch die Düse *d* in einem Strahl wieder in das Gefäß zurückgelangt. Der andere Pol des Erregerstromkreises ist an das Gefäß *G* angelegt. Der an der Spiralfeder *f* hängende Kern *m* des Elektromagneten stützt sich mit seinem Verlängerungsstück auf das der Düse gegenüber liegende Ende des Armes *a*. Der Vorgang bei der Signalgebung ist nun folgender: die von der Sternwarte kommenden Ströme erregen das Feld der Wickelung *w*, dadurch wird der Kern *m* in die Wickelung hineingezogen und drückt das eine Ende des Armes *a* nach unten. Das andere Ende dieses Armes, das als Düse ausgebildet ist, wird dadurch angehoben, und der aus der Düse ausströmende Quecksilberstrahl trifft die Kupferscheibe *K*. Dadurch ist der Erregerstromkreis geschlossen, denn der Strom kann aus dem Gefäß *G* durch den Strahl, die Scheibe *K* und die Achse *A* zu der Bürste *b* gelangen. Sobald der von der Sternwarte kommende Strom aufhört, wird der Kern *m* von der Feder *f* wieder in die Höhe gezogen und das Düsenende des Armes *a* fällt herunter, sodaß der Quecksilberstrahl nicht mehr die Scheibe *K* treffen kann.



Durch den Erregerstromkreis werden in der üblichen Weise mittels Funkenstrecke und Antenne die in den Raum ausstrahlenden Hertzschen elektrischen Wellen erzeugt. Die Dauer eines einzelnen Zeitsignals beträgt $^1/_5$ Sek.

Auf der Sternwarte ist eine kleine Empfängerstation eingerichtet, die es dem diensthabenden Beamten ermöglicht, die funkentelegraphischen Zeitsignale selbst abzuhören und sich auf diese Weise unmittelbar von dem richtigen Arbeiten der Apparate zu überzeugen.

Unzutreffend ist in dem Aufsatze von Ferrié die Behauptung, daß die Zeitsignale des Eiffel-Turms die ersten funkentelegraphischen Zeitsignale größeren Stiles seien. Die vom Kaiserlichen Observatorium in Wilhelmshaven mittels der Großstation Norddeich abgegebenen Zeitsignale haben vor denen des Eiffel-Turms begonnen.

Dem Ref. scheint es, daß die drei einzelnen Signale in Abständen von je 2 Min. weniger leicht aufzufassen und mit den Chronometern an Bord zu vergleichen sind, als die Reihen von je 5 Zeitsignalen in Abständen von je einer Sekunde, wie sie von Norddeich aus gegeben werden. Dazu kommt, daß sie leicht mit atmosphärischen Störungen verwechselt werden können, weil sie für gewöhnlich nicht mit tönenden, sondern mit gewöhnlichen Funken gegeben werden.

Sodann wird von einer geodätischen Längenbestimmung zwischen Paris und Biserta berichtet, die mittels funkentelegraphischer Zeitübermittlung in beiden Richtungen und Uhrenvergleichung nach der von Guyou angegebenen Koinzidenzmethode ausgeführt werden soll unter Benutzung des von Claude, Ferrié und Driencourt angegebenen Kontaktpendels (s. *diese Zeitschr.* **30.** *S. 161. 1910*).

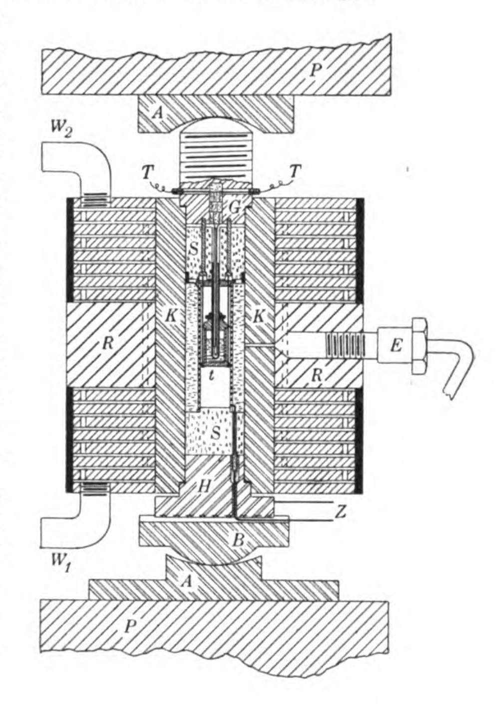
Den Schluß bilden Angaben über den Austausch funkentelegraphischer Depeschen zwischen dem Eiffel-Turm und dem lenkbaren Luftschiff Clément-Bayard, wobei der Eiffel-Turm noch auf eine Entfernung von 110 *km* bei einem Energieverbrauch des Luftschiffs von nur 40 bis 50 Watt ohne Schwierigkeit empfangen hat. Umgekehrt war der Empfang schwierig. Es erklärt sich dies daraus, daß die von einer am Boden befindlichen Station ausgehenden Wellen sich vorzugsweise längs des Erdbodens ausbreiten, sodaß die aufzufangende Energiemenge sehr rasch mit der Höhe der auffangenden Station über dem Erdboden abnimmt. Die vom Luftschiff ausgehenden Wellen breiten sich dagegen gleichmäßig nach allen Seiten hin aus.

E. Kohlschütter.

Der Einfluß des Druckes auf den Schmelzpunkt einiger Metalle.

Von J. Johnston und L. H. Adams. *Amer. Journ. of Science* **31.** *S. 501. 1911.*

In dieser Arbeit sind die Schmelzpunkte von Zinn, Wismut, Kadmium und Blei bei Drucken bis zu 2000 Atm. mit einem Kupfer-Konstantan-Thermoelement gemessen worden. Die Drucke wurden mit einer hydraulischen Pumpe erzeugt und durch ein hochsiedendes Paraffinöl, das bis 400° brauchbar ist, auf das zu untersuchende Metall übertragen.



Das Metall befand sich in einem Graphittiegel t, der zusammen mit einem elektrischen Ofen in einem starkwandigen Stahlzylinder K stand. Der Ofen wurde nach außen durch Specksteinstücke S thermisch isoliert. Stahlblöcke G und H verschlossen unter Anwendung einer Kupferdichtung und starken äußeren Druckes das Rohr K an den Enden, und der scharf aufgepaßte Nickelstahlring R wirkte einer seitlichen Ausbiegung entgegen. Durch die Wasserspülung W_1 W_2 konnte dafür gesorgt werden, daß die dem einseitigen Druck ausgesetzten Metallteile sich nur wenig erwärmten. Die Stahlblöcke G und H befanden sich zwischen den Backen P einer hydraulischen Presse, und zwar unter Zwischenschaltung der Stücke A und B. Diese waren, wie des näheren aus der Figur ersichtlich ist, mit gekrümmten Oberflächen versehen, sodaß der Druck auch ohne langwieriges Zentrieren völlig gleichmäßig auf die Verschlußblöcke wirkte. Um die Bombe wieder zu öffnen, konnte nach Entfernung der hydraulischen Presse der Block G mit einer Schraubenmutter gehoben werden.

Die Stromzuführungen Z und das Thermoelement T mußten gut isoliert in die Druckkammer eingeführt werden; zu diesem Zweck wurden die Drähte von eng anschließenden Röhren aus Speckstein umgeben, die einen äußeren Durchmesser von 12 *mm* hatten und die man in entsprechende Bohrungen der Stahlstücke unter Anwendung sehr starker hydraulischer Drucke hineinpreßte.

Der Innenraum des Zylinders K, in den der Druck durch ein bei E sich ansetzendes Rohr übertragen wurde, faßte etwa 100 *ccm* Öl. Da sich dies Volumen ein wenig mit der Temperatur und beim Schmelzprozeß selbst änderte, so war es für die Konstanz des Druckes

vorteilhaft, in die Rohrleitung eine Stahlflasche von 1 Liter Inhalt einzuschalten und somit das Ölvolumen erheblich zu vergrößern. Es konnte nach sorgfältiger Dichtung aller Verbindungen erreicht werden, daß das zur Druckmessung dienende Bourdonsche Manometer (von Schäffer & Budenberg in Magdeburg) viele Stunden hindurch auch bei den höchsten Drucken keine Änderungen aufwies. Ein Auslaßventil wurde mit Leder gedichtet. Die Verbindungsstellen erfüllten alle Ansprüche an Dichtheit, wenn man die Rohre mit konischen Enden in Stahlblöcke einschliff und sie durch starke Muttern anpreßte.

Nach Versuchen von E. Wagner (*Ann. d. Physik* **27.** *S. 955. 1908*) ist bekannt, daß sich die elektromotorische Kraft der Thermoelemente mit dem Druck etwas ändert. Bei der vorliegenden Arbeit, bei der die relative Meßgenauigkeit auf 0,02° angegeben wird, kommt dieser Effekt indessen noch nicht in Frage.

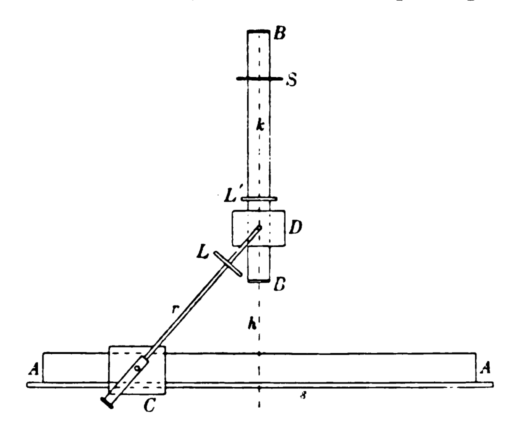
Als Resultat der Messungen ist anzugeben, daß bis zu 2000 Atm. die Erstarrungspunkte der untersuchten Metalle lineare Funktionen des Druckes sind. Bei einem Druck von 2000 Atm. liegt die Erstarrungstemperatur von Blei, Kadmium, Zink um 16,1°, 12,6°, 6,6° C. höher, von Wismut um 7,1° C. tiefer als bei Atmosphärendruck. Diese Resultate stimmen befriedigend überein mit den Folgerungen der Thermodynamik, die man aus der Clapeyron-Clausiusschen Gleichung ziehen kann, wenn man in dieselbe die bereits anderweitig bekannten Schmelzwärmen und Volumenänderungen während des Schmelzprozesses einsetzt.

Nicht unerwähnt darf gelassen werden, daß die absoluten Werte der in dieser Arbeit angegebenen Temperaturen zu niedrig sind. Die Autoren geben als Grundlage ihrer Skale die Siedepunkte von Naphthalin und Benzophenon zu 217,7° und 305,6° C. und den Schmelzpunkt von Zink zu 418,2° C. an; nach umfangreichen gasthermometrischen Messungen der Reichsanstalt, die soeben veröffentlicht sind (*Ann. d. Physik* **35.** *S. 761. 1911*), gelten für jene Fixpunkte der Reihe nach die Temperaturen 218,0°, 305,9° und 419,4°. *Hng.*

Eine Anordnung für das Plangitter, ähnlich der Rowlandschen für das Konkavgitter.

Von C. Barus und M. Barus. *Amer. Journ. of Science* **31.** *S. 85. 1911.*

Auf den zwei zu einander senkrechten Gleitschienen A und B werden die beiden beweglichen Schlitten C und D durch die Stange r in konstantem Abstand gehalten. Auf C befindet sich das Okular, auf D das Transparentgitter. Die Linse L wirft ein Bild des Spaltes S auf das Fadenkreuz des Okulars; S ist durch eine Stange k mit D fest verbunden. Das Gitter auf D kann so aufgestellt werden, daß es bei der Bewegung von C und D entweder parallel zu AA stehen bleibt, oder sich dreht und senkrecht zu r bleibt, d. h. es kann der Einfallswinkel oder der Beugungswinkel gleich Null gemacht werden. Für die zu messende Wellenlänge stellt man rechts und links von h auf das Fadenkreuz ein; nach Anbringung einer kleinen Korrektion ist der am Maßstab s gemessene Abstand dieser beiden Einstellungen der Wellenlänge proportional. Bringt man die achromatische Linse L nach L', so durchsetzt jetzt konvergentes Licht das Gitter, und die Verhältnisse für stillstehendes und sich drehendes Gitter werden gerade umgekehrt wie im vorigen Falle. Man kann auch zwei Linsen L und L' benutzen, sodaß paralleles Licht durch das Gitter geht. Natürlich läßt sich auch ein Reflexionsgitter oder ein Rowlandsches Konkavgitter verwenden.



Die mit ganz einfachen Mitteln, mit einem nur in *cm* geteilten Maßstabe s bewerkstelligte Messung ergab Werte für die Linie D_2, die um wenige Å.-E. von dem wirklichen Werte abwichen. *L. J.*

Über ein selbstregistrierendes Photometer.

Von M. Samec und A. Jenčič. *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **119,** *IIa. S. 1571. 1910.*

Der Apparat, dessen Herstellung durch eine Subvention der Akademie der Wissenschaften in Wien ermöglicht wurde, soll für Frei- und Fesselballons verwendet werden und ist zu physiologischen und klimatologischen Untersuchungen bestimmt.

In einem lichtdichten Kasten sind ein Uhrwerk und ein 7 *m* langer Streifen Edersches haltbar gesilbertes Chlorsilberphotometerpapier untergebracht. In der Mitte des Deckels befindet sich eine rechteckige Öffnung (2,2 *cm* lang, 2,0 *cm* breit), und in den Mitten der vier Seiten des Rechtecks sind Metallstifte angebracht, wodurch ein kleiner Teil der Öffnung beschattet werden kann. Dieser Teil wird also nur vom diffusen Himmelslicht, der übrige Teil eventuell auch noch von der Sonne bestrahlt. Das Papier wird mittels des Uhrwerks sprungweise um je 2,5 *cm* unter der Öffnung vorübergeführt, und zwar treten diese Sprünge, welche je 0,25 Sekunden dauern, zu den Zeiten 0, t, t', $t + t'$, $2t'$ u. s. w. ein. Gewählt wird $t' = 5$ Minuten, während sich t in geeigneter Weise von 3 Sekunden bis 5 Minuten variieren läßt; für gewöhnlich wird man t klein gegen t' nehmen. Beispielsweise sei im folgenden $t = 4$ Sekunden.

Der Papierstreifen enthält nach der Exposition zweierlei belichtete Felder a und b, die durch (nahezu) unbelichtete 3 *mm* breite Felder voneinander getrennt sind. Die nahezu 5 Minuten lang belichteten Felder a bekommen bei gewöhnlichen Lichtverhältnissen so starke Lichteindrücke, daß sie für die Auswertung der Messungen wertlos sind, aber sie erleichtern das Ablesen der Expositionszeiten. Die weniger geschwärzten, 3,75 Sekunden lang belichteten Felder b, welche gegebenenfalls noch eine von der Schattenwirkung eines der vier Metallstifte herrührende hellere Linie zeigen, werden mittels einer Lichtquelle von bekannter Lichtstärke ausgewertet. Leider wird nicht auf die Einzelheiten der Berechnung eingegangen.

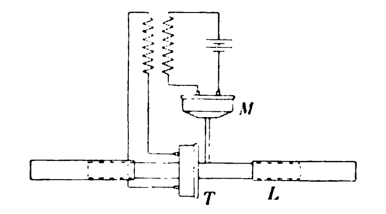
Die konstruktive Durcharbeitung des Apparates ist anzuerkennen. Wegen der vielen Fehlerquellen der photographischen Methode (z. B. Änderung in der spektralen Zusammensetzung der zu messenden Strahlung) ist indessen eine große Genauigkeit nicht zu erwarten.

E. Lh.

Akustischer Wechselstromerzeuger mit regulierbarer Periodenzahl für schwache Ströme.

Von A. Larsen. *Elektrotechn. Zeitschr.* **32.** *S. 284. 1911.*

Die Summer-Unterbrecher (vgl. *diese Zeitschr.* **23.** *S. 242. 1903*) zeigen eine gewisse Inkonstanz der Tonhöhe. Um diese zu verbessern, wendet Larsen Resonanzrohre an; dabei zeigte sich aber, daß die hinter der Membran befindliche Luft mitschwingt und dadurch Störungen verursacht. Es wird deshalb ein doppelseitiges Resonanzrohr L angewendet (vgl. die Figur), das zu beiden Seiten eines Dosentelephons T angeordnet ist. Das Mikrophon M wird durch ein enges, unmittelbar vor der Membran endendes Rohr gehalten. In den Mikrophonkreis ist ein geeigneter Transformator eingeschaltet, dessen Sekundärkreis das Telephon erregt.



Durch Ausziehen der Rohre L kann man ohne Schwierigkeit Frequenzen von 600 bis 1200 herstellen und auf etwa $^1/_5$ Prozent konstant halten. Der Apparat wird von der A. G. dansk Telegrafonfabrik in Kopenhagen hergestellt. *E. O.*

Bücherbesprechungen.

C. Pulfrich, Stereoskopisches Sehen und Messen. 8°. 40 S. m. 17 Figuren und einem Literatur-Verzeichnis seit 1900. Jena, G. Fischer 1911. 1 M.

Die sich angenehm lesende Abhandlung ist ein erweiterter Abdruck des von dem gleichen Verf. geschriebenen Artikels „*The Stereoscope*“ der *Encyclopaedia Britannica*. Sie gibt

eine sehr erwünschte und verdienstliche Ergänzung des Werkes von M. v. Rohr „Die binokularen Instrumente“, insofern als die Behandlung der stereoskopischen Meßinstrumente, deren Entwicklung fast ganz in dieses Jahrhundert fällt, nicht in den Rahmen des v. Rohrschen Werkes paßt und daher von v. Rohr auch nicht unternommen worden ist. Da andrerseits gerade der Ausbau des Stereoskops zu einem Meßapparat das große Interesse der Jetztzeit an diesem optischen Instrument hervorgerufen hat, war eine historische Darstellung dieser Entwicklung ein stark empfundenes Bedürfnis. Daß es der eigentliche Schöpfer dieses Meßverfahrens selbst ist, der sich dieser Aufgabe unterzogen hat, verleiht der Schrift ein besonderes Interesse und bürgt für ihre Vollständigkeit und Zuverlässigkeit.

An mehreren Stellen werden neue vom Verf. konstruierte Instrumente erwähnt, über die noch nichts veröffentlicht ist, und die in nächster Zeit weitere, wesentliche Fortschritte der stereoskopischen Meßkunst versprechen. Das Literatur-Verzeichnis von 276 Nummern enthält fast ausschließlich Arbeiten, die in den letzten 11 bis 12 Jahren erschienen sind; wegen der älteren Literatur wird auf das oben zitierte Quellenwerk von M. v. Rohr verwiesen. *E. Kohlschütter.*

Neu erschienene Bücher.

B. G. Teubners Sammlung v. Lehrbüchern auf dem Gebiete der mathematischen Wissenschaften m. Einschluß ihrer Anwendungen. gr. 8°. Leipzig, B. G. Teubner.

V. 2. G. Loria, Spezielle algebraische u. transzendente ebene Kurven. Theorie u. Geschichte. Nach dem italien. Mskr. bearb. deutsche Ausg. v. Gymn.-Ob.-Lehr. Fritz Schütte. 2. Aufl. 2. (Schluß-) Bd. Die transzendenten u. die abgeleiteten Kurven. VIII, 384 S. m. 80 Fig. auf 6 lith. Taf. 1911. 12,50 M.; geb. in Leinw. 14 M. — XXXI. L. Henneberg, Die graphische Statik der starren Systeme. XV, 732 S. m. 394 Fig. 1911. Geb. in Leinw. 24 M. — XXXV. G. Wallenberg, Theorie der linearen Differenzengleichungen. Unter Mitwirkg. v. A. Guldberg. XIV, 288 S. m. 5 Fig. 1911. 10 M.; geb. in Leinw. 11 M.

H. Danneel, Elektrochemie. 2. Auflage (2 Teile). Tl. I: Theoretische Elektrochemie u. ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. 12. 189 S. m. 16 Figuren. Leipzig 1911. Leinenband. 0,80 M.

P. Gruner, Kurzes Lehrbuch der Radioaktivität. 2., vollständig umgearb. Aufl. v. „Die radioaktiven Substanzen u. die Theorie des Atomzerfalles“. gr. 8°. IV, 119 S. m. 20 Fig. Bern, A. Francke 1911. 2,50 M.

Taschenbuch f. Mathematiker u. Physiker. Unter Mitwirkg. zahlreicher Fachgenossen hrsg. v. F. Auerbach u. R. Rothe. Mit e. Bildnis H. Minkowskis. 2. Jahrg. kl. 8°. IX, 567 S. m. 154 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1911. Geb. in Leinw. 7 M.

J. M. Eder, Ausführliches Handbuch der Photographie. In 4 Bdn. Bd. I. 3., vermehrte Aufl. Teil 4: Die photographischen Objektive. gr. 8°. VII, 329 S. m. 272 Fig. 12 M.

W. Trabert, Lehrbuch der kosmischen Physik. gr. 8°. X, 662 S. m. 1 farb. Karte u. 149 Fig. Leipzig 1911. 20 M.

J. Bauschinger u. J. Peters, Logarithmisch-trigonometrische Tafeln m. 8 Dezimalstellen, enth. die Logarithmen aller Zahlen von 1—200000 u. die Logarithmen der trigonometr. Funktionen f. jede Sexagesimalsekunde des Quadranten. Neu berechnet u. hrsg. II. Bd. Tafel der 8-stell. Logarithmen der trigonometr. Funktionen f. jede Sexagesimalsekunde des Quadranten. Ster.-Ausg. Lex. 8°. 952 S. Leipzig, W. Engelmann 1911. 35 M.; geb. in Leinw. 37 M.

J. Peters, Siebenstellige Logarithmentafel der trigonometrischen Funktionen f. jede Bogensekunde des Quadranten. Ster.-Ausg. Lex. 8°. VIII, 921 S. Leipzig, W. Engelmann 1911. 28 M.; geb. in Leinw. 30 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Soeben nach Schluß der Redaktion des vorliegenden Heftes geht uns die erschütternde Nachricht zu, daß

Herr Geheimer Regierungsrat Professor Dr. St. Lindeck

am 21. Oktober nach kurzer Krankheit verschieden ist.

Die Verdienste des Verstorbenen nicht nur um die „Zeitschrift für Instrumentenkunde“, sondern auch um die Wissenschaft und Technik der wissenschaftlichen Instrumente werden in dieser Zeitschrift von berufener Seite eine Würdigung erfahren. Wir wissen aber, daß mit uns alle Leser dieser Zeitschrift, deren Redaktion der Verstorbene mit seltener Liebe und größter Aufopferung seit 1895 geführt hat, dem trefflichen Manne ein ehrenvolles, dauerndes Andenken bewahren werden.

Berlin, den 23. Oktober 1911.

Kuratorium und Verlag der
Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

XXXI. Jahrgang. **Oktober 1911.** Zehntes Heft.

Neues Durchgangs-Instrument für die Bestimmung fundamentaler Rektaszensionen auf photographischem Wege.

Von
L. Ambronn in Göttingen.

Anknüpfend an eine kurze Versuchsreihe, die von Dr. Hayn und mir Anfang der neunziger Jahre mit der photographischen Aufzeichnung der Durchgänge von Sternen durch den Meridian gemacht worden war, die aber leider äußerer Umstände wegen bald wieder abgebrochen werden mußte, veranlaßte ich im Herbst 1909 Hrn. R. Trümpler, diese Arbeiten mit etwas verbesserten Einrichtungen wieder aufzunehmen. Die Übertragung der Zeitmarken auf die Sternspuren wird bei dieser Methode durch kleine Bewegungen einer planparallelen Glasplatte bewirkt, die senkrecht zum Strahlengang an geeigneter Stelle in diesen eingeschaltet wird. Durch die Bewegungen dieser Platte, die direkt von der Hauptuhr veranlaßt werden, wird die Sternspur auf der photographischen Platte um kleine Strecken verschoben; die Länge der einzelnen Teile der Sternspur variiert dann je nach der Deklination des Sternes. Die Stellen der Unterbrechung geben die Zeitmarken mit großer Schärfe.

Die neuen Versuchsreihen solcher Aufnahmen an dem alten Reichenbachschen Durchgangs-Instrument der Göttinger Sternwarte ließen bald erkennen, daß diese Methode der Sternaufnahmen nach besserer Durchbildung des Instrumentariums tatsächlich Aussicht auf guten Erfolg bot. Das Nähere über diese Versuche und die theoretischen Untersuchungen besonders in bezug auf die optischen Fragen hat Hr. Dr. Trümpler in seiner Inaugural-Dissertation[1]) behandelt.

Im folgenden soll die Beschreibung eines von der Firma F. Sartorius in Göttingen eigens für die Anwendung des angegebenen Prinzips erbauten neuen Durchgangs-Instruments und seiner Einrichtungen gegeben werden.

Beschreibung des Durchgangs-Instruments.

Auf einem sehr schweren gußeisernen Untergestell *1* (Fig. 1) ruht das Fernrohr. Die starke Horizontalachse *2* von 90 *cm* Länge ist in der Mitte wie gewöhnlich zu einem Kubus ausgebildet, der an den vier freien Seiten durchbohrt ist. Zwei dieser Durchbohrungen sind mit Klappen verschlossen und dienen einmal für die Durchsicht der Kollimatoren, die im Osten und Westen des Instruments aufgestellt sind, und andererseits zum Einsetzen und Korrigieren des später zu beschreibenden elektrischen Hilfsapparates, der die obenerwähnte planparallele Glasplatte trägt. Vor den anderen Öffnungen sind die Fernrohrhälften, deren Rohre aus Stahl bestehen, befestigt. Diese werden

[1]) R. Trümpler, Eine Methode zur photographischen Bestimmung von Meridiandurchgängen. Dissertation, Göttingen 1910.

von etwas weiteren Rohren *3* zum Schutze gegen äußere Einflüsse umgeben. Mit dem Fernrohr sollen noch Äquatorsterne bis zur 7,5-ten photographischen Größe beobachtet werden, die bis zu etwa 70° Zenitdistanz herab kulminieren. Dementsprechend sind die Dimensionen des Fernrohres gewählt. Das von C. A. Steinheil Söhne in München gefertigte photographische Objektiv hat 180 *mm* Öffnung bei 180 *cm* Brennweite. Es liefert die nötige Schärfe der photographischen Bilder, ohne daß die Handlichkeit und Stabilität des Instruments beeinträchtigt würde. An den Umhüllungsrohren sind die Gestänge für den Objektivdeckel *5* und den Blendrahmen *6* angebracht. Der Blendrahmen besitzt vier Öffnungen von der Größe des Objektivs, die abwechselnd vor dieses gestellt werden können. Drei dieser Öffnungen sind mit feinen Gazegittern überzogen, die als Blenden wirken; die vierte Öffnung ist freigelassen und trägt, um ein Beschlagen des Objektivs zu verhüten und störendes Seitenlicht fernzuhalten, eine 30 *cm* lange Taukappe *4* aus Aluminiumblech. Die Blenden sind so eingerichtet, daß die Beugungsspektren nach Möglichkeit verschwinden, und daß sie der Reihe nach etwa 1,5; 3 und 4 Größenklassen abblenden. Sie sollen nicht nur dazu dienen, die photographischen Sternspuren verschieden heller Sterne nahezu gleich stark erscheinen zu lassen, sondern auch durch symmetrisches Vorschalten zur Elimination der etwa vorhandenen Helligkeitsgleichung.

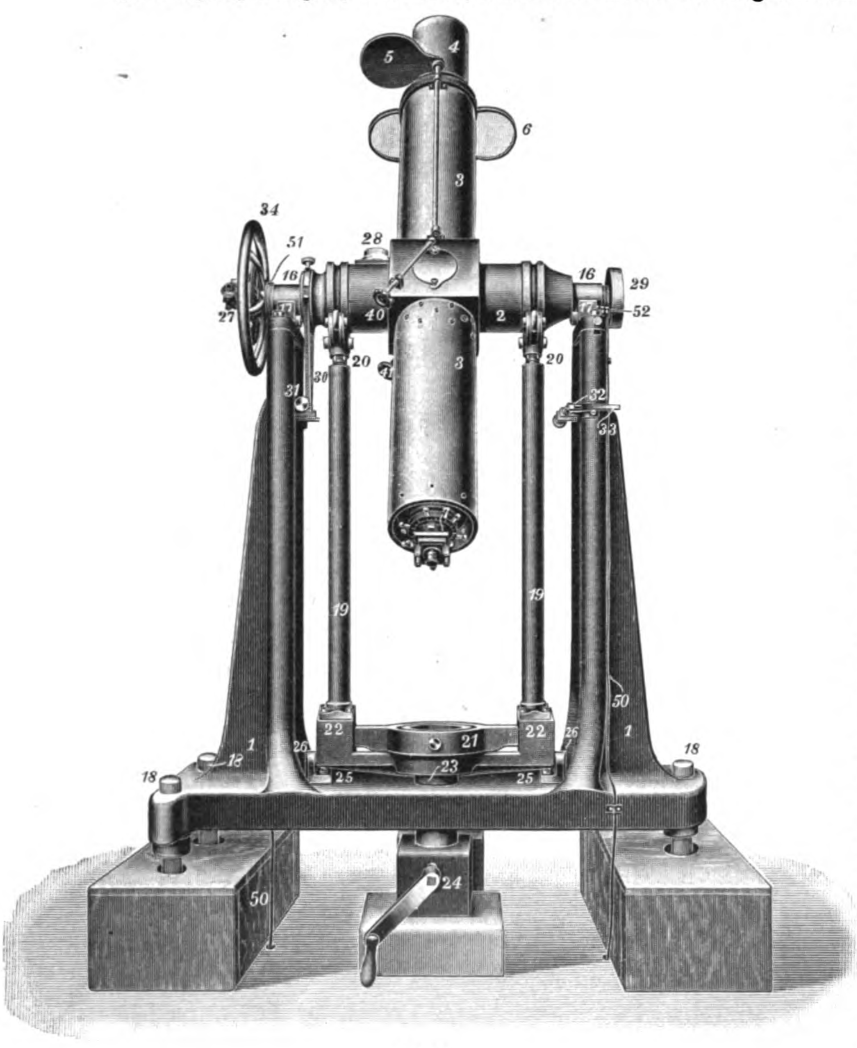


Fig. 1.

An Stelle des gewöhnlichen Okulars ist der Okularauszug *8* (Fig. 2) mit einer Einrichtung zur Aufnahme der photographischen Kassette versehen. Der Okularstutzen wird durch zwei diametral aufgeschraubte Rippen *9* geführt, von denen die eine mittels zweier Stellschrauben zur Berichtigung der Fadenstellung dient. Beide Rippen tragen auf ihrer Außenseite die Teile eines Schraubengewindes, dessen Mutter ein Ring *10* mit Griffknöpfen bildet. Durch Drehen dieses Ringes, der an seinem inneren Rande eine hundertteilige Skale trägt, verschiebt sich der Okularauszug bei jeder Umdrehung

sehr gleichmäßig um 1 *mm*, sodaß auf diese Weise eine außerordentlich genaue und bequeme Fokusierung möglich wird. Die Okularöffnung *11* besitzt einen Durchmesser von 40 *mm*, der 76 Bogenminuten entspricht. In der Brennebene sind eine größere Anzahl von Spinnenfäden ausgespannt, die zur Bewegungsrichtung der Sterne genau senkrecht gestellt werden können und auf der Platte als feine Unterbrechungen der Sternspuren sich bemerkbar machen oder bei kurzer Vorbelichtung des Gesichtsfeldes als klare Linien in dem leicht geschwärzten Bild des Gesichtsfeldes erscheinen.

Beim Einschieben der geschlossenen Blechkassette in den zu deren Aufnahme bestimmten Rahmen *12* wird diese durch zwei Blattfedern vom Fadennetz abgehalten, um dieses vor Verletzungen zu schützen. Beim Herausziehen des Kassettenschiebers hält die Sperrfeder *13* die Kassette selbst zurück. Um die Platte genau in den Fokus zu bringen, wird die geöffnete Kassette durch die beiden Exzenter *14*, die durch einen Griff miteinander verbunden sind, an den die Fäden tragenden Ring gedrückt, bis die photographische Platte auf drei Anschlagstiften aufliegt, deren Köpfe weniger als 0,1 *mm* über die Ebene des Fadennetzes vorstehen. Diesen Anschlägen liegen auf der Innenseite der starken Kassettenrückwand drei gleiche Stifte genau gegenüber, sodaß also die photographische Platte nur zwischen diesen drei Punkten festgehalten wird und keinerlei Spannung erleidet. Die Führungen der Exzenter werden durch zwei Federn *15* ziemlich kräftig gegen die Rückwand der Kassette gedrückt. An Stelle der Kassette kann auch ein Deckel mit Okular eingeschoben werden, sodaß durch visuelle Beobachtungen die vorläufige Justierung des Instruments wesentlich erleichtert wird. Der ganze Okularkopf kann durch ein schwarzes Tuch, welches an dem Umhüllungsrohr befestigt wird, während die Kassette ein- und ausgeschoben wird, und während der Exposition selbst gegen Lichtzutritt geschützt werden.

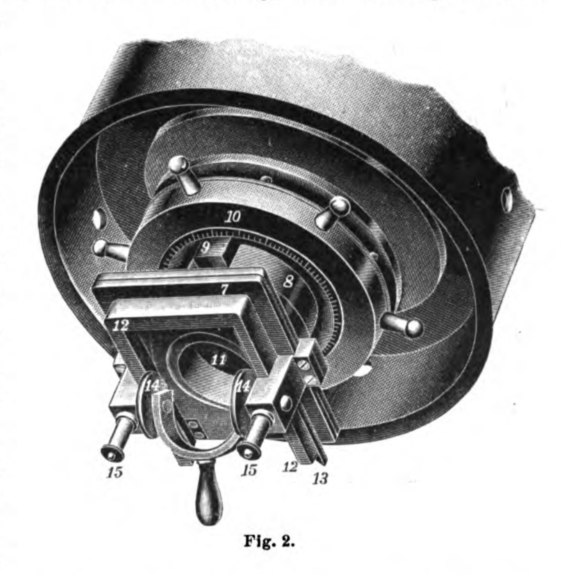


Fig. 2.

Das Fernrohr ruht mit seiner Achse mittels der 9 *cm* dicken Zapfen *16* (Fig. 1) in starken Lagerstücken *17* aus Rotguß, von denen das eine azimutal verschiebbar ist. Der Umlegemechanismus ist ähnlich eingerichtet wie bei den kleinen transportablen Durchgangs-Instrumenten mit gebrochenem Fernrohr. Es ist das hier möglich, weil das Okularende auch während der Expositionen in der Nähe des Zenits nicht zugänglich zu sein braucht. Die auf dem Querstück *22* ruhenden Federgehäuse *19* führen zwei Stangen, welche durch eine Rollengabel das Fernrohr unter der Achse entlasten; sie werden von einem Wagebalken *21* getragen. Dieser ruht mittels eines Bolzens auf einem Zylinder *23*, der durch eine Öffnung in der Grundplatte des Untergestells hindurchgeht und in der Umlegevorrichtung, die auf einem besonderen Zementblock montiert ist, endigt. Beim Umlegen des Instruments wird der Zylinder durch Umdrehung der Kurbel *24* mittels eines Exzenters gehoben, worauf die Entlastungsvorrichtung das Instrument aufnimmt und dieses auf einem Kugellager leicht und schnell gedreht werden kann. Die Drehung wird durch die Anschläge *25* begrenzt, und beim Herunterlassen führen zwei Ansätze *26* das Instrument in die richtige Lage

zurück. Der Zylinder *23* geht frei durch die Grundplatte hindurch, sodaß die Umlegung des Fernrohres ganz unabhängig von dem Untergestell des Instruments erfolgt und keine Störung des Azimuts zu befürchten ist. Das ganze Instrument ist mittels dreier Fußschrauben *18* und entsprechender Unterlegplatten, von denen die eine größere azimutale Korrektionseinrichtungen besitzt, auf zwei Ziegelsteinpfeilern aufgestellt. Diese niedrigen Pfeiler sowie derjenige, welcher die Umlegevorrichtung trägt, und der für den Quecksilberhorizont bestimmte ruhen gemeinsam auf einem nahezu 20 *cbm* haltenden Betonblock.

Zum Einstellen des Instruments wird ein „Sucherfernrohr" verwendet, welches zum größten Teil in der durchbohrten Drehachse des Instruments liegt, deren eines Ende das Okular *27* trägt. Das Objektiv des Suchers hat 6 *cm* Öffnung und tritt mit einem kurzen Ansatzrohr bei *28* nur wenig aus der Achse (direkt neben dem Kubus) heraus. Ein um 45° geneigter Spiegel reflektiert die von dem Objektiv kommenden Strahlen nach dem Okular. Dieses Okular dient gleichzeitig für ein zweites Fernrohr, dessen Objektiv von 4 *cm* Öffnung in dem anderen Zapfen bei *29* befestigt ist. Die von ihm kommenden Strahlen werden durch eine Öffnung im Spiegel des Suchers durchgelassen. Auf diese Weise ist es möglich, die Tätigkeit des Beobachters ganz auf das Okular bei *27* zu konzentrieren, und es sind daher auch alle Handgriffe, die während der Beobachtungen benötigt werden, so angeordnet, daß sie von dem Stand des Beobachters aus betätigt werden können.

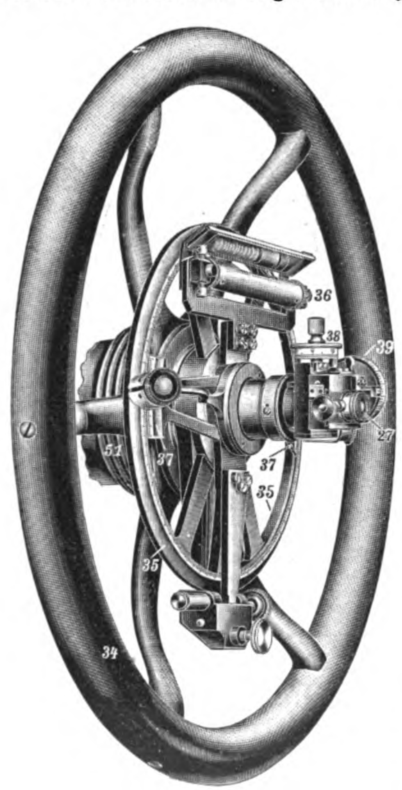


Fig. 3.

Durch den Klemmarm bei *30* und die Schraube *31* mit Gegenfeder *32* wird die Feinbewegung in Deklination bewirkt. Zum Ausschalten der Klemmeinrichtung beim Umlegen genügt ein einziger Griff, indem durch den Hebel *33* die Gegenfeder zurückgezogen und dieser Hebel in einer Sperrfeder festgehalten wird; um die Feinbewegung nach umgelegtem Instrument wieder in Tätigkeit zu setzen, ist nur ein Lösen der Sperrfeder nötig.

Eine bequeme Bewegung des Fernrohres bei der Einstellung in Zenitdistanz wird durch das Handrad *34* (Fig. 3) von 40 cm Durchmesser erreicht. Unmittelbar außerhalb desselben sitzt der Einstellkreis *35*, der von 10′ zu 10′ geteilt ist und mittels der Nonien *37*, der Libellenalhidade *36* Einstellungen in Zenitdistanz bis auf eine Minute schnell und sicher gestattet. In der Bildebene des Suchers befinden sich zwei zueinander senkrecht stehende, mittels der Mikrometerschrauben *38* und *39* bewegliche Doppelfäden; der eine derselben, der parallel zur Bewegungsrichtung des Sternes steht, *39*, wird für den Sucher verwandt, zum genauen Einstellen der Sterne in Zenitdistanz. Um nämlich eine ganze Reihe von Sternspuren auf derselben photographischen Platte aufnehmen zu können, wird jeder Stern in der Deklinationsrichtung an eine andere Stelle des Gesichtsfeldes eingestellt, sodaß die Spuren auf der Platte alle unter einander liegen. Am besten wird die Platte ausgenutzt, wenn die Abstände

der Spuren einander gleich sind, und dies wird dadurch erreicht, daß der Doppelfaden durch die Mikrometerschraube *39* zwischen zwei Aufnahmen um eine Viertelumdrehung (gleich 1', entsprechend 0,6 *mm* auf der photographischen Platte), die durch einen fühlbaren Anschlag markiert ist, gedreht und der nächste Stern im Sucher wieder auf den Doppelfaden eingestellt wird. Durch diese Einrichtung können bei dem großen Gesichtsfelde des Fernrohres 40 und mehr Sterndurchgänge in jeder beliebigen Anordnung auf einer einzigen Platte aufgenommen werden, ohne zu weit aus der Mitte des Gesichtsfeldes herauszukommen. Der zweite Doppelfaden, der zum Achsenfernrohr gehört und zur Einstellung der Kollimatoren dient, besitzt geringeren Bewegungsspielraum und ist mit einer feinen Meßschraube versehen. Er hat bei jeder Stellung des Fernrohres eine dem Großkreis des Meridians parallele Richtung und mißt daher direkt diejenige Komponente der Abweichung der Instrumentenachse von der Achse der Kollimatoren, die als Referenzlinie dient, welche auf die Durchgangszeit bezw. die Rektaszension des Sternes entfällt. Vom Okularende des Suchers aus sind die beiden Handgriffe *40* und *41* (Fig. 1) bequem erreichbar, die das Öffnen und Schließen des Objektivdeckels bezw. das Vorschalten der Gitterblenden ermöglichen.

Apparat für die Aufnahme und Bewegung der Glasplatte zur Ausführung der Verschiebung der Sternspuren.

Die planparallele Glasplatte *42* (Fig. 4), durch deren Drehung die notwendige Beziehung zwischen Uhrzeit und Sternspur gewonnen wird, ist direkt an der Innenfläche des Kubus auf besonderem Gestell befestigt, sodaß sie sich in einer Entfernung von etwa $^2/_5$ der Brennweite vom Okular aus befindet, da sich diese Stelle nach den optischen Vorgängen bei der Abbildung der Sterne als die günstigste ergab. Sie ist rund, besitzt einen Durchmesser von 9 *cm*, eine Dicke von 6 *mm* und besteht aus Jenaer Crown 1550 mit dem Brechungsindex 1,62 und möglichst kleiner Dispersion. Zur Erzeugung einer Spurverschiebung von 0,1 *mm* ist eine Drehung der Platte um 2,5° notwendig. Die Drehung wird durch Elektromagnete bewirkt, deren Anker an der Fassung für die Glasplatte angebracht sind. Um aber eine Masse von so großem Trägheitsmoment in genügend kurzer Zeit

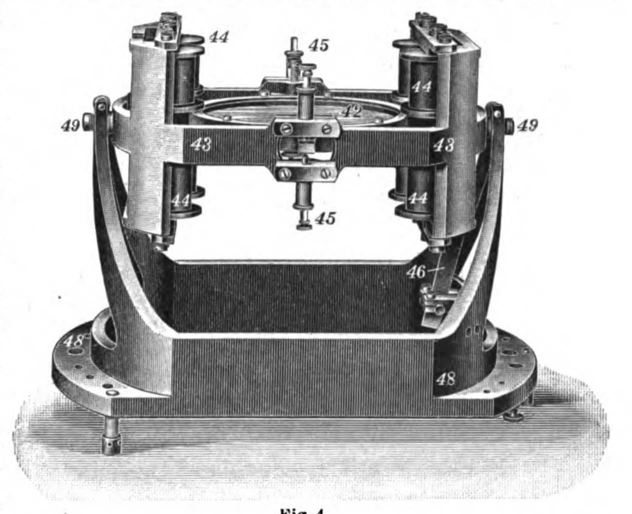


Fig. 4.
Die elektrischen Verbindungsleitungen sind der Deutlichkeit halber nicht gezeichnet.

um diesen Betrag zu drehen, sind recht erhebliche Kräfte nötig, und das Aufschlagen könnte immerhin Erschütterungen hervorbringen. In der Befürchtung, es könnten sich solche auf das Fernrohr übertragen, ist ein ähnliches Prinzip zu Hilfe genommen worden, wie es bei den Rohrrücklaufgeschützen zur Minderung des Rückstoßes verwendet wird. Es ist nämlich auch der Rahmen *43*, der die acht Elektromagnete *44* und die Ansschlagschrauben *45* trägt, um die Drehachse der Glasplatte drehbar angeordnet worden, sodaß er nur durch eine Blattfeder *46* in der Gleichgewichtslage gehalten wird. Beim Anziehen der Magnete und beim Aufschlagen wird

die Masse der Glasplatte mit ihrer Fassung zunächst von den Anschlägen *45* aufgenommen, die ihrerseits an dem Rahmen mit den Magneten angebracht sind. Dieser Rahmen bewegt sich aber infolge seines viel größeren Trägheitsmomentes nur außerordentlich wenig. Der Rückstoß wird noch durch kleine Federbolzen verringert, die den Beginn der Bewegung der Glasplatte wiederum erleichtern, sodaß die relativ großen Massen der Tätigkeit der Magnete leicht und sicher folgen. Die acht Magnete sind in zwei Gruppen von je vier geschaltet, von denen die eine zur Drehung der Platte in der einen Richtung, die andere zur Rückdrehung dient; zwischen jeder Drehung muß der elektrische Strom von der einen Magnetgruppe auf die andere umgeschaltet werden. Aus dem Ton der Aufschläge und den Spurunterbrechungen selbst geht hervor, daß durch diese Anordnung wirklich eine rasche und gleichmäßige Drehung der Platte erzielt wird. Das Gußstück *48*, das die Lager *49* der Platte und des Rahmens trägt, ist direkt am Kubus des Instruments selbst befestigt und durch Stellschrauben so justierbar, daß die Glasplatte in der Ruhelage auf der optischen Achse des Fernrohres senkrecht steht. Es kann mit der ganzen Dreheinrichtung ohne große Schwierigkeiten durch die Öffnungen im Kubus eingesetzt und justiert werden. Die drei Stromzuleitungen *50* (Fig. 1) werden durch Ringe *51* neben den Zapfen der Achse und die Schleifkontakte *52* (auf der anderen Seite nicht sichtbar) in das Fernrohr eingeführt.

Die Drehungen der Glasplatte werden durch eine Rieflersche Präzisionspendeluhr bewirkt, welche Hr. Ingenieur Dr. Riefler zur Verfügung zu stellen die Freundlichkeit hatte, und die im Keller der Sternwarte aufgestellt ist. Der Sekundenkontakt derselben, der abwechselnd während einer ganzen Sekunde den Strom schließt, während der nächsten unterbricht, betätigt zunächst ein empfindliches polarisiertes Relais, und dieses schaltet einen Strom von etwa 0,2 Amp. von der einen Magnetgruppe auf die andere über.

Diese Anordnung liefert zunächst bei jedem Sekundenschlage der Uhr eine Verschiebung der Sternspur. Bei Äquatorsternen ist dieses Intervall wohl geeignet, die Verschiebungen deutlich hervortreten zu lassen; aber schon bei Deklinationen über 50° fallen diese infolge der langsameren Bewegung der Sterne so nah zusammen, daß die Schärfe der Einstellung beim Ausmessen der Platten darunter leidet. Es mußte also eine Einrichtung getroffen werden, die gestattet, die Intervalle, in denen die Verschiebungen vor sich gehen, zu verändern; es erwiesen sich bis zu 87° Deklination die Intervalle 1; 2; 4; 10 Sek. als ausreichend. Zur Erlangung der drei letzteren Intervalle wird eine Hilfsuhr benutzt, die von der Normaluhr im Keller elektrisch synchronisiert wird, und die die durch das Relais zu bewirkenden Umschaltungen demgemäß regelt. Auf die Steigradachse *s* (Fig. 5) eines Uhrwerks sind drei Zahnrädchen *Z* aufgesetzt mit 30, 15 bezw. 6 Zähnen; auf diesen Zähnen (in Fig. 5 ist nur das Rad für das 2 Sek.-Intervall skizziert, die anderen beiden sind dahinterliegend zu denken) gleitet mit einer Nase *n* ein dreiarmiger Hebel; dieser dient wiederum als Hemmung für einen Flügel *F*, der durch Gewicht und Zahnrad-Übertragung gedreht wird. Die Achse von *F* trägt gleichzeitig eine Trommel *S* (in Wirklichkeit zwei, in Fig. 6 neben

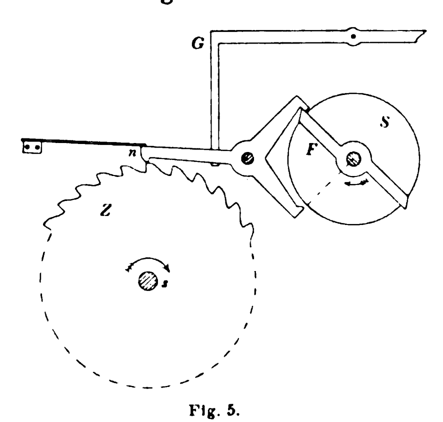


Fig. 5.

einander gezeichnete Trommeln) mit fünf Schleifkontakten *a*, *b*, *c*, *d*, *e*. Jede Bewegung dieser Hemmung (Heben der Nase durch einen Zahn oder Hinuntersinken derselben in eine Lücke) verursacht eine Vierteldrehung des Flügels und der Schalttrommel, und dementsprechend vermag diese vier verschiedene Schaltungen auszuführen, die sich fortwährend wiederholen. Nach Vorübergehen von je zwei Zähnen eines der Zahnräder erreicht die Trommel wieder dieselbe Lage. Da die Hilfsuhr infolge der Synchronisation gegenüber der Normaluhr eine bestimmte, immer gleichbleibende Phasendifferenz aufweist, erfolgen die Auslösungen der Hilfshemmung und die Schaltungen der Trommel in der Zwischenzeit zwischen den Kontakten der Normaluhr, und diese Umschaltungen haben daher *keinerlei Einfluſs* auf die Genauigkeit der Zeitübertragung. Fig. 6 gibt eine schematische Skizze der vier Schaltungen der

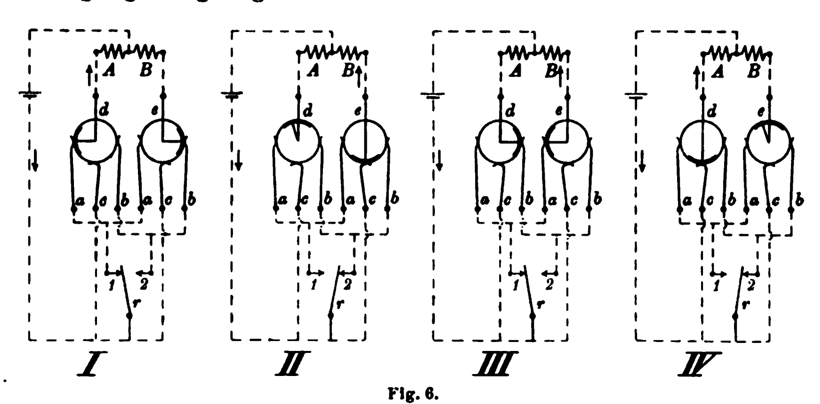


Fig. 6.

A und *B* stellen die Wicklungen der beiden Magnetgruppen von Fig. 4 dar. — Die skizzierten Schaltungen *I* bis *IV* treten immer erst dann ein, wenn die Hauptuhr das Umlegen der Relaiszunge *r* bewirkt hat.

Trommeln und die zugehörigen Stellungen *1* und *2* der Relaiszunge *r* für den Fall der 2 Sekunden-Intervalle durch Vermittelung des Zahnrades mit 30 Zähnen. Bei den übrigen beiden Zahnrädern fehlt jeder 2., 3., 4. und 5. Zahn, und die Schaltungen II und IV der Trommel dauern je 3 bezw. 9 Sekunden. Durch die Gabel *G* (Fig. 5) läßt sich die Hilfshemmung seitlich verschieben, sodaß die Nase des dreiarmigen Hebels auf dem gewünschten der drei nebeneinander liegenden Zahnräder gleitet; ebenso kann dieser von den Zahnrädern weggehoben werden, sodaß die Schaltung I oder III der Trommel dauernd bestehen bleibt und die Drehung der Glasplatte in jeder Sekunde erfolgt. Die Gabel ist neuerdings durch eine axial wirkende Einrichtung ersetzt worden. Als Minutenzeichen setzt die Normaluhr beim Beginn jeder Minute einen Kontakt aus, und dementsprechend sind an den betreffenden Stellen der Zahnräder die Zähne etwas geändert, sodaß die Verschiebung, die in der Sekunde 0 ausbleibt, in der 1. bezw. 2. oder 4. Sekunde nachgeholt wird. Der Antrieb für die Schalteinrichtung läuft verhältnismäßig schnell ab, da wegen des Kraftaufwandes nur ein Rad vor die Schalttrommel gesetzt ist. Er wird durch ein Gewicht an Kette ohne Ende bewirkt, welches mittels eines kleinen Elektromotors selbsttätig wieder aufgezogen wird.

Nördlich vom Instrument selbst ist ein großer Quecksilberhorizont aufgestellt. Dieser besteht aus einer runden Schale, die mit Kupfer ausgeschlagen ist und einen Durchmesser von 52 *cm* besitzt, um gleichzeitig auch für den Sucher zu dienen. Auf einer eisernen Unterlagsplatte läßt sich der ganze eiserne Trog, der in der Mitte nur eine Vertiefung von 0,4 *mm* hat, aber trotzdem nahezu 16 *kg* Quecksilber faßt, auf Rollen mit Kettenführung verschieben. Um ihn bei der Beobachtung der reflektierten

Bilder bequem für die verschiedenen Deklinationen einzustellen, ist die Unterlagsplatte mit Deklinationsskale versehen.

Das Häuschen, in dem das Instrument aufgestellt ist, hat 4 *m* Länge und 4 *m* Breite bei 3,4 *m* Giebelhöhe. Es ist völlig getrennt vom Instrument fundiert und berührt mit Fußboden und Bekleidung der Pfeiler keinen Teil der Fundamente oder des Instruments. Das Dach besteht aus zwei Teilen, die mit Rollen auf eisernen Schienen um je einen Meter nach Osten und Westen auseinandergeschoben werden können. Die Drehachse des Instruments liegt etwa 2,3 *m* über dem Fußboden, sodaß das Fernrohr sich bei geöffnetem Dach praktisch vollkommen im Freien befindet. In der Südwand wird der Meridianspalt durch die Tür, in der Nordwand durch eine große Fensteröffnung gebildet. Zwei Luken in der Ost- und Westwand lassen den Durchblick nach den Kollimatoren frei. Diese werden von gut fundierten Backsteinpfeilern getragen.

Aufnahme der Sterndurchgänge.

Das photographische Durchgangs-Instrument läßt zwei verschiedene Beobachtungsverfahren zu, je nachdem es sich um die Messung kleiner Rektaszensionsdifferenzen von Sternen handelt, deren Deklinationen in einem Bereich liegen, der kleiner ist als der Durchmesser des Gesichtsfeldes, oder um Rektaszensionsbestimmungen von Sternen, die erheblich verschiedene Deklinationen besitzen.

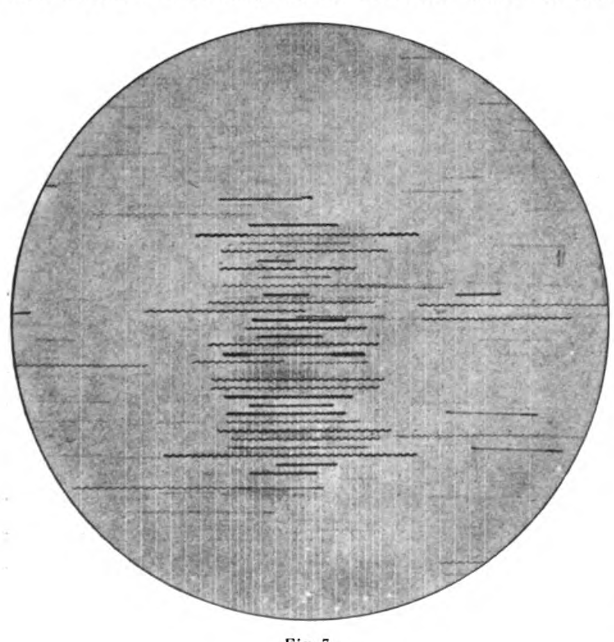


Fig. 7.

Im ersteren Falle, der sich besonders zur Ausmessung von Sterngruppen oder Sternhaufen eignet, wird das Instrument einfach auf das Mittel der Deklination der Sterne eingestellt und, während die Glasplatte ihre Bewegungen ausführt, so lange exponiert, als die Sterngruppe zu ihrem Durchgang gebraucht. Es werden dann alle Sterne aufgenommen, die innerhalb des Gesichtsfeldes des Fernrohres kulminieren, und aus ihren Durchgangszeiten durch den Mittelfaden leitet man die Rektaszensionsdifferenzen ab unter Berücksichtigung der Fadenschiefe und des Uhrganges[1]). Wenn die Aufstellung des Instruments einigermaßen stabil ist, können auf diese Weise Rektaszensionsdifferenzen bis zu einer halben Stunde und mehr gemessen werden. Solche Aufnahmen wurden mit dem neuen Instrument von den Sterngruppen im Perseus, den Plejaden und Hyaden ausgeführt. Aus der Übereinstimmung der Resultate der an verschiedenen Abenden von derselben Sterngruppe genommenen Platten ergab sich der mittlere Fehler einer Durchgangsbestim-

[1]) Die Fig. 7 zeigt das Aussehen einer mit Sternspuren bedeckten Platte in doppelter Größe. Die einzelnen Intervalle in den Spuren haben verschiedene Länge, je nachdem die 1, 2, 4 oder 10 Sek.-Kontakte eingeschaltet waren. Die Abblendung einzelner Spuren ist auch sichtbar, ebenso die Minutenzeichen.

mung zu etwa + 0,12″, also nur etwa halb so groß wie bei den besten bisherigen visuellen Durchgangsbestimmungen (vgl. z. B. E. Jost, Untersuchungen über die Parallaxe von 29 Fixsternen. *Veröffentl. d. Großherzogl. Sternwarte Heidelberg 4.* Der mittlere Fehler ist dort durchschnittlich zu 0,24″ gefunden.)

Die andere Beobachtungsart soll in erster Linie zur Bestimmung der Rektaszensionen von Fundamentalsternen Verwendung finden. Es wird dabei jeder Stern einzeln auf eine bestimmte Stelle des Gesichtsfeldes eingestellt, auf einer Platte eine Gruppe von 20 bis 40 Sternen aufgenommen und deren Durchgangszeiten durch den Mittelfaden abgeleitet. Aus der Gesamtheit der Sterne einer Gruppe, die auf möglichst verschiedene Zenitdistanzen verteilt werden, können die Instrumentalfehler und die Uhrkorrektion bestimmt und mit Hilfe derselben die Verbesserungen der Rektaszensionen der einzelnen Sterne erhalten werden.

Zur Bestimmung der Aufstellungsfehler des Instruments können mit Vorteil auch Aufnahmen der Umgebung des Himmelspoles verwendet werden. Bei einer Exposition von 2 Minuten erhält man infolge der langsamen Bewegung dieser Sterne eine große Zahl von beinahe punktförmigen Bildern von Sternen bis zur 12. Größe; je eine solche Aufnahme in beiden Kreislagen direkt und reflektiert liefert Neigung, Azimut und Kollimationsfehler des Instruments mit großer Schärfe.

Die Aufnahme eines Durchganges dauert für alle Sterne bis zu 70° Deklination zwischen 1 und 2 Minuten, von 70° bis 80° etwa 2 bis 5 Minuten. Infolge der bequemen Handhabung des Instruments können daher Sterne in Zwischenräumen von 1,5 bis 4 Minuten aufgenommen werden; im Durchschnitt erhält man für längere Beobachtungsserien einschließlich des Einsetzens der Kassette etwa 20 bis 25 Sterndurchgänge in einer Stunde.

Die Einzelheiten vorstehender Beschreibung hat Hr. Dr. Trümpler zusammengestellt, der auch die ersten vollständigen Beobachtungsreihen ausführte. Die Möglichkeit der Ausführung und Aufstellung des vorstehend beschriebenen Instruments verdanke ich dem großen Interesse, welches Hr. Dr. Ehrensberger diesen astronomischen Untersuchungen entgegenbrachte, und der die Firma Fried. Krupp in Essen veranlaßte, für den Bau und die Aufstellung dieses neuen Durchgangs-Instruments eine Summe von über 9000 M. mir gütigst zur Verfügung zu stellen, was mit dem Ausdruck besonderen Dankes auch hier erwähnt werden darf.

Ein neues Nivellierinstrument.

Von
Adolf Fennel in Cassel.

Bei allen bisher bekannten Konstruktionen von Nivellierinstrumenten, deren Fernrohre nicht um ihre optische Achse drehbar und umlegbar sind, ist eine Berichtigung von einem Standpunkte aus unmöglich. Es sind vielmehr zur Berichtigung solcher „Nivellierinstrumente mit festem Fernrohr" zwei Aufstellungen des Instruments, zwei Aufstellungen der Latte und vier Lattenablesungen nötig.

Bei der nachstehend beschriebenen neuen Konstruktion hingegen kann das Instrument *von einem Standpunkt aus* berichtigt werden, trotzdem das Fernrohr weder drehbar noch umlegbar ist. Dieser Vorzug ist dadurch erreicht, daß ein Fernrohr mit Einrichtung zum Vor- und Rückblick angewandt ist, bei dem die Zielmarken (kleine Strichkreuze) genau in der optischen Achse der Objektive liegen.

Die genaue Herstellung dieser Marken ist nicht ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel erreichbar, und hierin ist augenscheinlich der Grund dafür zu suchen, daß Instrumente dieser Art noch nicht ausgeführt sind. Durch Konstruktion eines besonderen Apparats ist es dem Verfasser jedoch gelungen, das für diese Instrumente nötige Zusammenfallen der Zielmarke und der optischen Achse in aller wünschenswerten Schärfe zu erreichen.

Die Instrumente der neuen Art unterscheiden sich äußerlich kaum von den bekannten älteren Konstruktionen. Fig. 1 zeigt eins der neuen Instrumente im Längs-

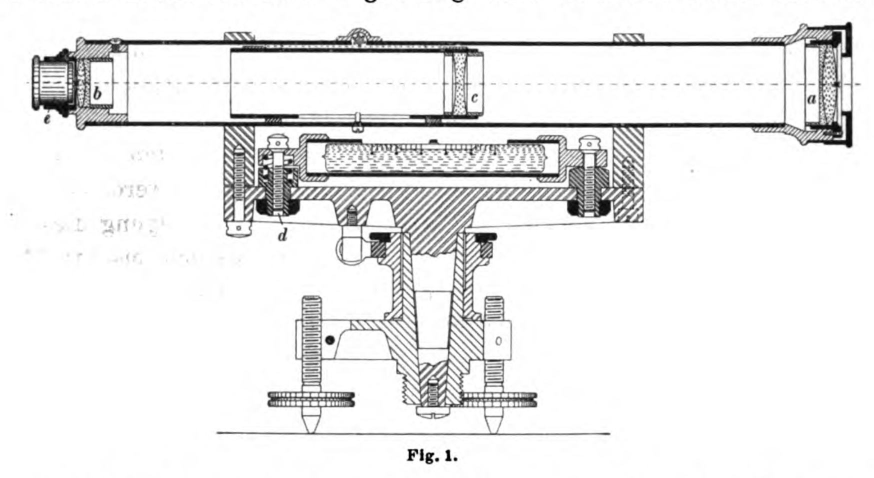


Fig. 1.

schnitt. Es sind darin *a* und *b* zwei Objektive, deren jedes eine in der optischen Achse liegende Zielmarke in Form eines Kreuzes trägt. Zur Einstellung auf Ziele verschiedener Entfernung wird die Konkavlinse[1]) *c* im Fernrohr verschoben. Das Okular *e*, das gewöhnlich beim Nivellieren vor dem kleinen Objektiv *b* steckt, ist so eingerichtet, daß es auch vor das Objektiv *a* gesteckt werden kann, wenn man in der Richtung von *a* nach *b* zielt.

Die Berichtigung der Instrumente geschieht folgendermaßen. Man stellt zunächst die Libellenachse auf bekannte Weise mit Hilfe der Justierschraube *d* rechtwinklig zur Vertikalachse und zielt dann, während das Okular vor dem Objektiv *b* steht, eine Nivellierlatte an. Die Lesung sei *N*. Hierauf dreht man das Instrument um 180° um seine Vertikalachse, steckt das Okular vor das Objektiv *a* und macht eine zweite Ablesung an der Latte. Hat man hierbei die Lesung *P* erhalten, so neigt man das ganze Fernrohr mit den Justierschrauben am Fernrohrträger so, daß sich an der Latte die Lesung $\frac{N+P}{2}$ ergibt.

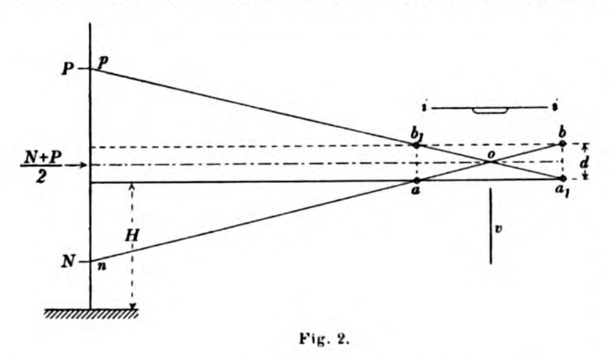


Fig. 2.

Zur Erklärung dieser Methode der Berichtigung[2]) diene die Fig. 2, in der *v* die Vertikalachse, *i i* die auf bekannte Weise rechtwinklig dagegen gestellte Libellenachse,

[1]) Bei Nivellierinstrumenten zuerst von Wild angewandt (vgl. *diese Zeitschr.* **29.** *S. 329. 1909*).

[2]) Auf die Konkavlinse ist dabei der Einfachheit halber keine Rücksicht genommen.

a der optische Mittelpunkt und die Zielmarke des größeren, b der optische Mittelpunkt und die Zielmarke des kleineren Objektivs sei.

Nimmt man an, daß das Okular vor dem Objektiv b steht, und zielt man von b durch a nach einer Nivellierlatte, so wird man diese in dem Punkte n treffen. Dreht man nun das Fernrohr um die Vertikalachse um 180°, nachdem man das Okular bei a aufgesteckt hat, so nimmt der Punkt a die Lage a_1 und der Punkt b die Lage b_1 ein. Die Ziellinie $a_1 b_1$ trifft jetzt die Latte bei p. Nennen wir die dem Punkte n zugehörige Lattenhöhe N und die dem Punkte p zugehörige Lattenhöhe P, so ist ohne weiteres aus der Figur ersichtlich, daß das Mittel der beiden abgelesenen Höhen $\frac{N+P}{2}$ im Horizonte des Punktes o liegt, in dem sich die beiden Ziellinien innerhalb des Fernrohres schneiden. Lag vor Beginn der Berichtigung der optische Mittelpunkt nebst Zielmarke des Objektivs b um die Strecke d über dem Horizont von a, so ist offenbar $d/2$ der Abstand des Punktes o über dem Horizont von a. Die Lattenhöhe H, die dem Horizont von a entspricht, ergibt sich also zu $H = \frac{N+P}{2} - \frac{d}{2}$.

Da es keinem Zweifel unterliegt, daß man beim ersten Zusammensetzen der Instrumente — also vor der ersten Berichtigung — den Punkt b auf etwa 0,5 *mm* richtig einstellen kann, so würde das Mittel aus zwei Lattenhöhen nur um 0,25 *mm* falsch sein, eine Größe, die fast stets vernachlässigt werden kann.

Verstellt man nun b mittels der Justierschrauben am Fernrohrträger so, daß die Ziellinie der Lattenhöhe $\frac{N+P}{2}$ angibt, so ist damit zugleich d auf einen kleinen Bruchteil seines Anfangswertes vermindert. Bei einer etwa zur Kontrolle nötigen Wiederholung des Justierverfahrens ist dann der Wert von $d/2$ bereits so klein geworden, daß er für alle vorkommenden Fälle außer Betracht bleiben kann und der Wert $\frac{N+P}{2}$ dem wahren Horizont von a entspricht.

Instrumente dieser Art — ohne oder mit Kippschraube — bieten gegenüber allen bekannten Konstruktionen den Vorteil, daß einfache Bauart und bequeme Justierbarkeit in bisher unerreichter Weise vereinigt sind.

Cassel, den 5. August 1911.

Umformung der Seidelschen Bildfehlerausdrücke.

Von
Max Lange in Berlin-Friedenau.

Unter Benutzung der in dem Buche von M. v. Rohr „Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten" angewandten Bezeichnungen sei

$$t_k = \left(\frac{h_k}{h_1}\right)^4 Q_{k\,s}^2 \Delta_k \frac{1}{n\,s} \tag{1}$$

$$u_k = \frac{y_k Q_{k\,x}}{h_k Q_{k\,s}} \tag{2}$$

$$P_k = \frac{1}{r_k} \Delta_k \left(\frac{1}{n}\right) \tag{3}$$

$$k = n_1 \left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{x_1}\right). \tag{4}$$

Dann lauten die Gleichungen für die Korrektion der fünf Seidelschen Bildfehler

1. Sphärische Korrektion $\sum_{k=1}^{k=m} t_k = 0$

2. Korrektion der Koma $\sum_{k=1}^{k=m} t_k u_k = 0$

3. Sagittale Bildebenung $\sum_{k=1}^{k=m} t_k u_k^2 - k^2 \sum_{k=1}^{k=m} P_k = 0$

4. Petzval-Bedingung $\sum_{k=1}^{k=m} P_k = 0$

5. Korrektion der Verzeichnung $\sum_{k=1}^{k=m} t_k u_k^3 - k^2 \sum_{k=1}^{k=m} P_k u_k = 0.$

Die auf der rechten Seite der Gl. 1) bis 4) stehenden Größen haben nach M. v. Rohr folgende Bedeutung:

h Einfallshöhen des durch den Achsenobjektpunkt gehenden Zentralstrahls,
y „ „ „ „ Blendenort „ „ ,
Q_{ks} Nullinvarianten „ „ „ Achsenobjektpunkt „ „ ,
Q_{kx} „ „ „ „ Blendenort „ „
r Radien der Linsenkugelflächen,
n Brechungsindizes,
Δ optisches Intervall,
s Schnittweiten des durch den Achsenobjektpunkt gehenden Zentralstrahls
x „ „ „ „ Blendenort „ „ ,
m Anzahl der Kugelflächen.

Die Formeln in der angegebenen Gestalt enthalten sehr verschiedenartige Variabele, zwischen denen noch eine Reihe von Beziehungen besteht. Eliminiert man einen Teil dieser Variabeln, so kommt man bei nicht ganz glücklicher Wahl der beizubehaltenden Größen zu völlig unsymmetrisch gebauten, schwer übersichtlichen Gleichungen. Es soll daher versucht werden, die Zahl der Variabeln auf das für die praktische Berechnung erforderliche Minimum zu bringen, ohne gleichzeitig an Einfachheit des Formelbaus allzuviel aufzugeben.

Zu diesem Zwecke werden die neuen Größen eingeführt:

$$\alpha_k = \frac{h_k}{s_k} = \frac{h_{k-1}}{s'_{k-1}} \quad 5) \qquad \nu_k = \frac{1}{n_k}. \quad 6)$$

Wegen der Beziehung (nach M. v. Rohr)

$$Q_{ks} = -\frac{\Delta_k\left(\frac{1}{s}\right)}{\Delta_k\left(\frac{1}{n}\right)} = -\frac{\frac{1}{s'_k} - \frac{1}{s_k}}{\frac{1}{n_{k+1}} - \frac{1}{n_k}} \quad 7)$$

ergibt sich

$$Q_{ks} = -\frac{1}{h_k} \frac{\alpha_{k+1} - \alpha_k}{\nu_{k+1} - \nu_k}. \quad 8)$$

Ferner wird

$$\Delta_k\left(\frac{1}{n\,s}\right) = \frac{1}{n_{k+1}s'_k} - \frac{1}{n_k s_k} = \frac{1}{h_k}(\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k\alpha_k). \qquad 9)$$

Die Größen α_k sind proportional den Achsenneigungswinkeln des vom Objektpunkt kommenden Zentralstrahls. Zur weiteren Vereinfachung kann der Proportionalitätsfaktor stets so gewählt werden, daß h_1 (und ebenso später y_1) $= 1$ wird.

Man erhält dann

$$t_k = h_k\left(\frac{\alpha_{k+1}-\alpha_k}{\nu_{k+1}-\nu_k}\right)^2(\nu_{k+1}\alpha_{k+1}-\nu_k\alpha_k). \qquad 10)$$

Führt man weiter ein

$$\beta_k = \frac{y_k}{x_k} = \frac{y_{k-1}}{x'_{k-1}}, \qquad 11)$$

so wird analog

$$Q_{kx} = -\frac{1}{y_k}\,\frac{\beta_{k+1}-\beta_k}{\nu_{k+1}-\nu_k}. \qquad 12)$$

Aus den Durchrechnungsformeln folgt

$$-r_k = \frac{h_k(\nu_{k+1}-\nu_k)}{\nu_k\alpha_{k+1}-\nu_{k+1}\alpha_k} = \frac{y_k(\nu_{k+1}-\nu_k)}{\nu_k\beta_{k+1}-\nu_{k+1}\beta_k} \qquad 13)$$

und für die Achsendicken d

$$d_k = \frac{h_k - h_{k+1}}{\alpha_{k+1}} = \frac{y_k - y_{k+1}}{\beta_{k+1}}. \qquad 14)$$

Gl. 14) kann auch in der Form geschrieben werden

$$h_k\beta_{k+1} - y_k\alpha_{k+1} = h_{k+1}\beta_{k+1} - y_{k+1}\alpha_{k+1} \qquad 15)$$

und Gl. 13) in der Form

$$\nu_k(h_k\beta_{k+1} - y_k\alpha_{k+1}) = \nu_{k+1}(h_k\beta_k - y_k\alpha_k). \qquad 16)$$

Setzt man

$$h_k\beta_k - y_k\alpha_k = \varepsilon_k \quad 17) \qquad h_k\beta_{k+1} - y_k\alpha_{k+1} = \varepsilon'_k, \quad 18)$$

so ergibt sich für die ε das Bildungsgesetz

$$\varepsilon'_k = \varepsilon_{k+1} \quad 19) \qquad \nu_k\varepsilon'_k = \nu_{k+1}\varepsilon_k, \quad 20)$$

also

$$\varepsilon_{k+1} = \frac{\nu_{k+1}}{\nu_k}\varepsilon_k = \nu_{k+1}\frac{\varepsilon_1}{\nu_1} = -\nu_{k+1}k, \qquad 21)$$

wo k mit der in Gl. 4) eingeführten Größe k identisch ist.

Zur Bestimmung der Größen h und y hat man nun die beiden Gleichungen [aus 17) und 18)]

$$h_k\beta_k - y_k\alpha_k = -k\nu_k \quad 22) \qquad h_k\beta_{k+1} - y_k\alpha_{k+1} = -k\nu_{k+1}, \quad 23)$$

woraus folgt

$$h_k = \frac{-k(\nu_k\alpha_{k+1} - \nu_{k+1}\alpha_k)}{\beta_k\alpha_{k+1} - \beta_{k+1}\alpha_k} \quad 24) \qquad y_k = \frac{-k(\nu_k\beta_{k+1} - \nu_{k+1}\beta_k)}{\beta_k\alpha_{k+1} - \beta_{k+1}\alpha_k}. \quad 25)$$

Unter Benutzung des Wertes von h_k aus Gl. 24) erhält man in Verbindung mit Gl. 3) und Gl. 13)

$$P_k = \frac{1}{k}(\beta_k\alpha_{k+1} - \beta_{k+1}\alpha_k). \qquad 26)$$

Ferner wird

$$u_k = \frac{\beta_{k+1} - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \alpha_k}, \tag{27)}$$

und die Gleichungen für die Korrektion der Seidelschen Fehler lauten nun

1. Sphärische Korrektion

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)(\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)(\alpha_{k+1} - \alpha_k)^2}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2 (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)} = 0 \tag{28)}$$

2. Korrektion der Koma

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)(\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)(\alpha_{k+1} - \alpha_k)(\beta_{k+1} - \beta_k)}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2 (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)} = 0 \tag{29)}$$

3. Sagittale Bildebenung

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)(\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)(\beta_{k+1} - \beta_k)^2}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2 (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)} + \sum_{k=1}^{k=m} (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k) = 0 \tag{30)}$$

4. Petzval-Bedingung

$$\sum_{k=1}^{k=m} (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k) = 0 \tag{31)}$$

5. Korrektion der Verzeichnung

$$\sum_{=}^{k=m} \frac{(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k)(\nu_{k+1} \alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)(\beta_{k+1} - \beta_k)^3}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2 (\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)(\alpha_{k+1} - \alpha_k)} + \sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k)(\beta_{k+1} - \beta_k)}{\alpha_{k+1} - \alpha_k} = 0. \tag{32)}$$

Es ist noch der Nachweis der direkten praktischen Verwendbarkeit des entwickelten Formelsystems zu führen. Zu diesem Zwecke soll als Beispiel der am häufigsten vorkommende Fall, daß sämtliche Dicken gleich Null sind, betrachtet werden. Dann haben alle h und y den Wert 1 und die Gl. 24) und 25) führen zu den folgenden:

$$\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k = -k(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k) \tag{33)}$$

$$\nu_{k+1} \beta_k - \nu_k \beta_{k+1} = -(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k), \tag{34)}$$

woraus sich ergibt

$$\beta_k = \alpha_k - k \nu_k \quad 35) \qquad \beta_{k+1} = \alpha_{k+1} - k \nu_{k+1}. \tag{36)}$$

Man erhält weiter

$$\beta_k \alpha_{k+1} - \beta_{k+1} \alpha_k = -k(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1} \alpha_k) \tag{37)}$$

$$\beta_{k+1} - \beta_k = (\alpha_{k+1} - \alpha_k) - k(\nu_{k+1} - \nu_k) \tag{38)}$$

$$u_k = 1 - k \cdot \frac{\nu_{k+1} - \nu_k}{\alpha_{k+1} - \alpha_k}, \tag{39)}$$

und die Gl. 28) bis 32) nehmen die Gestalt an:

1. Sphärische Korrektion

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1} - \alpha_k)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2} = 0 \qquad 40)$$

2. Komakorrektion

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1} - \alpha_k)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2} - k \sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1} - \alpha_k)(\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)}{\nu_{k+1} - \nu_k} = 0 \qquad 41)$$

3. Sagittale Bildebenung

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1} - \alpha_k)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2} - 2k \sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1} - \alpha_k)(\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)}{\nu_{k+1} - \nu_k}$$

$$+ k^2 (\nu_{m+1}\alpha_{m+1} - \nu_1 \alpha_1) + k^2 \sum_{k=1}^{k=m} (\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1}\alpha_k) = 0 \qquad 42)$$

4. Petzval-Bedingung

$$\sum_{k=1}^{k=m} (\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1}\alpha_k) = 0 \qquad 43)$$

5. Korrektion der Verzeichnung

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1} - \alpha_k)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)}{(\nu_{k+1} - \nu_k)^2} - 3k \sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\alpha_{k+1} - \alpha_k)(\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)}{\nu_{k+1} - \nu_k}$$

$$+ 3k^2 (\nu_{m+1}\alpha_{m+1} - \nu_1 \alpha_1) - k^3 \sum_{k=1}^{k=m} \frac{(\nu_{k+1} - \nu_k)(\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k)}{\alpha_{k+1} - \alpha_k}$$

$$+ k^2 \sum (\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1}\alpha_k) - k^3 \sum \frac{(\nu_{k+1} - \nu_k)(\nu_k \alpha_{k+1} - \nu_{k+1}\alpha_k)}{\alpha_{k+1} - \alpha_k} = 0. \qquad 44)$$

Hiernach soll die oft behandelte Aufgabe der Vorrechnung eines dickenlosen, zweilinsig unverkitteten, auf sphärische Aberration, Koma und chromatischen Fehler zu korrigierenden Fernrohrobjektivs behandelt werden.

Die Gleichung für die Achromasie eines dickenlosen Systems lautet nach M. v. Rohr

$$\sum_{k=1}^{k=m} Q_{\nu,s} \Delta_\nu \frac{dn}{n} = 0, \qquad 45)$$

die mit den hier gewählten Größen zu schreiben wäre

$$\sum_{k=1}^{k=m} \frac{\alpha_{k+1} - \alpha_k}{\nu_{k+1} - \nu_k} (\nu_{k+1} dn_{k+1} - \nu_k dn_k) = 0. \qquad 46)$$

Die Gleichung der sphärischen Korrektion lautet im vorliegenden Falle

$$\sum_{k=1}^{k=4} \left(\frac{\alpha_{k+1} - \alpha_k}{\nu_{k+1} - \nu_k}\right)^2 (\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k) = 0, \qquad 47$$

und die Gleichung der Komakorrektion bekommt die einfache Gestalt

$$\sum_{k=1}^{k=4} \frac{\alpha_{k+1} - \alpha_k}{\nu_{k+1} - \nu_k} (\nu_{k+1}\alpha_{k+1} - \nu_k \alpha_k) = 0. \qquad 48$$

In diesen Gleichungen sind α_1 und α_5, die die Lage von Objekt und Bild bestimmen, als Konstante aufzufassen. (Im Falle eines unendlich fernen Objekts wird $\alpha_1 = 0$, und man setzt zweckmäßig $\alpha_5 = 1$, wodurch die Brennweite $h_1/\alpha_5 = 1$ gehalten wird.) Ferner wird $\nu_1 = \nu_3 = \nu_5 = 1$, $dn_1 = dn_3 = dn_5 = 0$.

Die Achromasiebedingung nimmt bei diesen Festsetzungen die Form an

$$\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\nu_2 - 1}\,\nu_2\,dn_2 + \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{\nu_2 - 1}\,\nu_2\,dn_2 + \frac{\alpha_4 - \alpha_3}{\nu_4 - 1}\,\nu_4\,dn_4 + \frac{\alpha_5 - \alpha_4}{\nu_4 - 1}\,\nu_4\,dn_4 = 0 \qquad 49)$$

oder

$$(\alpha_3 - \alpha_1)\,\frac{\nu_2\,dn_2}{\nu_2 - 1} + (\alpha_5 - \alpha_3)\,\frac{\nu_4\,dn_4}{\nu_4 - 1} = 0 \qquad 50)$$

oder

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_5 - \alpha_1 \cdot \dfrac{dn_2}{n_2 - 1} : \dfrac{dn_4}{n_4 - 1}}{1 - \dfrac{dn_2}{n_2 - 1} : \dfrac{dn_4}{n_4 - 1}}. \qquad 51)$$

Aus der Achromasiebedingung allein läßt sich also α_3 berechnen. Für das folgende wird daher α_3 als bekannt angenommen.

Die Gleichung der Komakorrektion lautet in vollständiger Schreibweise

$$\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\nu_2 - 1}(\nu_2\alpha_2 - \alpha_1) + \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{\nu_2 - 1}(\nu_2\alpha_2 - \alpha_3) + \frac{\alpha_4 - \alpha_3}{\nu_4 - 1}(\nu_4\alpha_4 - \alpha_3) + \frac{\alpha_5 - \alpha_4}{\nu_4 - 1}(\nu_4\alpha_4 - \alpha_5) = 0 \qquad 52)$$

oder

$$\frac{1}{\nu_2 - 1}\left[(\nu_2 + 1)(\alpha_3 - \alpha_1)\,\alpha_2 - (\alpha_3^2 - \alpha_1^2)\right] = \frac{1}{\nu_4 + 1}\left[(\nu_4 + 1)(\alpha_3 - \alpha_5)\,\alpha_4 - (\alpha_3^2 - \alpha_5^2)\right]. \qquad 53)$$

Setzt man den Ausdruck auf der linken bezw. rechten Seite von Gl. 53) gleich x, so wird

$$\alpha_2 = l_2\,x + m_2, \qquad \alpha_4 = l_4\,x + m_4, \qquad 54)$$

wo

$$l_2 = \frac{\nu_2 - 1}{(\nu_2 + 1)(\alpha_3 - \alpha_1)}, \qquad l_4 = \frac{\nu_4 - 1}{(\nu_4 + 1)(\alpha_3 - \alpha_5)}, \qquad 55)$$

$$m_2 = \frac{\alpha_3 + \alpha_1}{\nu_2 + 1}, \qquad m_4 = \frac{\alpha_3 + \alpha_5}{\nu_4 + 1} \qquad 56)$$

ist.

Für die Gleichung der sphärischen Korrektion erhält man in exakter Schreibweise

$$\frac{(\alpha_2^2 - 2\,\alpha_1\,\alpha_2 + \alpha_1^2)(\nu_2\,\alpha_2 - \alpha_1)}{(\nu_2 - 1)^2} + \frac{(\alpha_3^2 - 2\,\alpha_3\,\alpha_2 + \alpha_2^2)(\alpha_3 - \nu_2\,\alpha_2)}{(\nu_2 - 1)^2}$$
$$+ \frac{(\alpha_3^2 - 2\,\alpha_3\,\alpha_4 + \alpha_4^2)(\nu_4\,\alpha_4 - \alpha_3)}{(\nu_4 - 1)^2} + \frac{(\alpha_5^2 - 2\,\alpha_5\,\alpha_4 + \alpha_4^2)(\alpha_5 - \nu_4\,\alpha_4)}{(\nu_4 - 1)^2} = 0 \qquad 57)$$

oder

$$\frac{1}{(\nu_2 - 1)^2}\left[(2\,\nu_2 + 1)(\alpha_3 - \alpha_1)\,\alpha_2^2 - (2 + \nu_2)(\alpha_3^2 - \alpha_1^2)\,\alpha_2 + \alpha_3^3 - \alpha_1^3\right]$$
$$= \frac{1}{(\nu_4 - 1)^2}\left[(2\,\nu_4 + 1)(\alpha_3 - \alpha_5)\,\alpha_4^2 - (2 + \nu_4)(\alpha_3^2 - \alpha_5^2) + \alpha_3^3 - \alpha_5^3\right]. \qquad 58)$$

Auf der linken Seite dieser Gleichung soll jetzt $\alpha_2 = l_2\,x + m_2$ eingesetzt werden. Das Resultat für die rechte Seite ergibt sich daraus durch die Substitutionen

α_2	α_4
ν_2	ν_4
α_1	α_5
α_3	α_3
l_2	l_4
m_2	m_4

Setzt man also die linke Seite gleich L, so ist

$$L = \frac{1}{(\nu_2 - 1)^2} \left[(2\nu_2 + 1)(\alpha_3 - \alpha_1) l_2^2 x^2 + \left\{ 2 l_2 m_2 (2\nu_2 + 1)(\alpha_3 - \alpha_1) - l_2 (2 + \nu_2)(\alpha_3^2 - \alpha_1^2) \right\} x \right.$$
$$\left. + (2\nu_2 + 1)(\alpha_3 - \alpha_1) m_2^2 - (2 + \nu_2)(\alpha_3^2 - \alpha_1^2) m_2 + \alpha_3^3 - \alpha_1^3 \right]. \qquad 59)$$

Die Größe L ist also eine ganze rationale Funktion 2. Grades von x.
Setzt man

$$L = A_2 x^2 + B_2 x + C_2 = A_4 x^2 + B_4 x + C_4 \qquad 60)$$

und führt wieder für l_2, m_2, l_4, m_4 die errechneten Werte ein, so wird

$$A_2 = \frac{2\nu_2 + 1}{(\nu_2 + 1)^2 (\alpha_3 - \alpha_1)}, \qquad A_4 = \frac{2\nu_4 + 1}{(\nu_4 + 1)^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}, \qquad 61)$$

$$B_2 = -\frac{\nu_2 (\alpha_3 + \alpha_1)}{(\nu_2 + 1)^2}, \qquad B_4 = -\frac{\nu_4 (\alpha_3 + \alpha_5)}{(\nu_4 + 1)^2}, \qquad 62)$$

$$C_2 = \frac{(\alpha_3 - \alpha_1)\left[\nu_2 (\alpha_3 + \alpha_1)^2 - (\nu_2 + 1)^2 \alpha_1 \alpha_3\right]}{(\nu_2 + 1)^2 (\nu_2 - 1)^2}, \qquad C_4 = \frac{(\alpha_3 - \alpha_5)\left[\nu_4 (\alpha_3 + \alpha_5)^2 - (\nu_4 + 1)^2 \alpha_3 \alpha_5\right]}{(\nu_4 + 1)^2 (\nu_4 - 1)^2}. \qquad 63)$$

Zur Bestimmung von x dient dann die quadratische Gleichung

$$(A_2 - A_4) x^2 + (B_2 - B_4) x + C_2 - C_4 = 0, \qquad 64)$$

und aus x berechnen sich die Größen a_2 und a_4 gemäß den Gl. 54) bis 56).

Im allgemeinen wird man nach Durchführung der Vorrechnung den Zentralstrahl durch das System (oder ein durch Einführung kleiner Dicken verändertes) durchrechnen. Geht man in diesem Falle nach den vom Verf. in seiner Dissertation „Vereinfachte Formeln für die trigonometrische Durchrechnung optischer Systeme“ (Rostock 1909) angegebenen Formeln vor, so ergeben sich die Werte der Radien aus der Rechnung selbst. Andernfalls bestimmen sich die Größen r_k nach Gl. 13), wenn man $h_k = 1$ setzt.

Mit Hilfe der Formeln 26) bis 32) ist man imstande, sämtliche ∞ vielen Lösungen der Aufgabe anzugeben, ein optisches System mit 6 brechenden Flächen und vorgeschriebener Brennweite auf alle 5 sphärischen Fehler zu korrigieren. Man nimmt zu diesem Zwecke die Werte der u und $v = k \cdot P$ beliebig an, die letzteren mit der einschränkenden Bedingung $\sum_{k=1}^{k=6} v_k = 0$. Aus den drei ersten und der letzten Seidelschen Gleichung lassen sich die Werte der t aus linearen Gleichungen als Funktionen der u und v und zweier weiterer Parameter berechnen. Ebenso erhält man die Werte sämtlicher α und β unter der Annahme, daß α_1 und β_1 gegeben sind, aus den Gl. 26) und 27). Aus dem Ausdruck für t_k läßt sich dann schließlich das Verhältnis $\frac{\nu_{k+1}}{\nu_k}$ als Wurzel einer quadratischen Gleichung bestimmen, und die Radien und Dicken ergeben sich durch Anwendung der Gl. 24), 14) und 13). Sind bei einer geringeren Anzahl brechender Flächen weniger Bedingungen zu erfüllen, so kann man in ähnlicher Weise verfahren.

Friedenau, Optische Anstalt von C. P. Goerz, im August 1911.

Referate.

Meßmaschine.

Von Ch. Éd. Guillaume. *Anhang zu den Procés-verbaux du Comité Intern. des Poids et Mesures* **6.** *1911. 8°. 12 S. m. 3 Abbild. Paris, Gauthier-Villars 1911.*

Durch Zusammenarbeit des *Bureau international* und der *Société genevoise* ist für die Bedürfnisse der Technik eine *Meſsmaschine* ausgebildet worden, deren Einrichtung Einzelheiten von Interesse zeigt. Die Maschine gehört, wie aus Fig. 1 zu ersehen ist, zum Typ der Längenkomperatoren für gemischte Vergleichungen von Endmaßen mit Strichmaßen. Daneben gestattet sie jedoch auch die Vergleichung von Endmaßen untereinander.

Auf einem hochgebauten, starren Bett mit Prismenführung ist am linken Ende der Lagerbock einer Meßschraube befestigt. Auf dem freien Teil der Führung kann ein feststellbarer Schlitten verschoben werden, auf welchem ein in 500 *mm* geteilter Maßstab befestigt

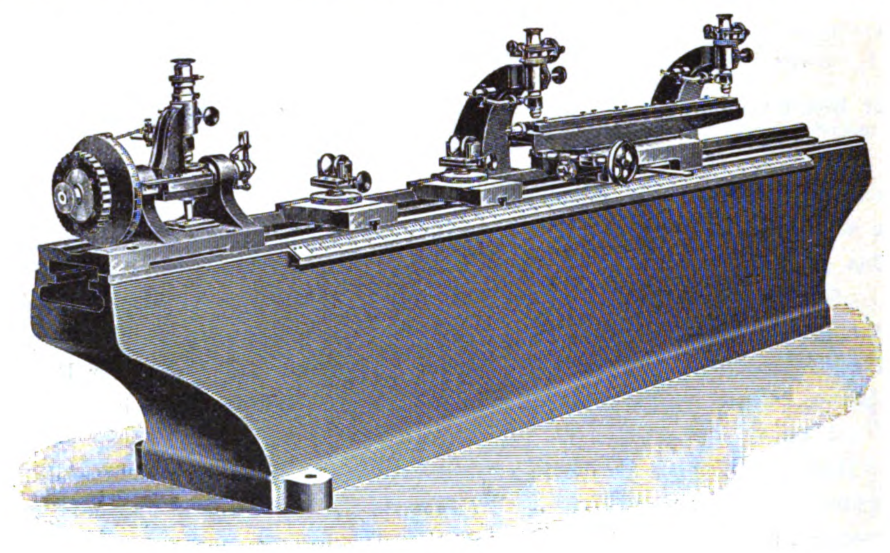


Fig. 1.

ist. Der Maßstab besteht aus schwer oxydierbarem Nickelstahl mit 57 Prozent Ni, dessen Wärmeausdehnung praktisch derjenigen gewöhnlichen Stahles gleichkommt. Die Teilung liegt, um den Einfluß von Führungsfehlern herabzudrücken, in der Verlängerung der Meßschrauben-Achse. Mit dem Maßstab ist die eine Meßfläche starr verbunden. Über der Teilung sind an stabilen Trägern in 500 *mm* Achsenentfernung zwei Ablesemikroskope angeordnet, welche 0,1 μ durch Schätzung der Trommelpartes abzulesen gestatten. Für Meßlängen bis zu 500 *mm* genügt das linke der beiden Ablesemikroskope; das zweite, rechtsliegende erlaubt, Endmaße bis zu 1 *m* Länge mit der 500 *mm*-Teilung zu messen, wobei dann die Achsenentfernung der beiden Ablesemikroskope als Hilfsintervall dient.

Die Konstruktion der Meßschraube ist aus Fig. 2 ersichtlich. Die Schraube ist drehbar, aber nicht verschiebbar; die Mutter liegt in einem zweifach gelagerten Zylinder *A*, der verschiebbar, aber nicht drehbar ist. Durch eine in Fig. 2 links angeordnete Spiralfeder wird der tote Gang überwunden. Als Meßdruck-Indikator dient folgende Einrichtung. Der Anschiebezylinder *D* ist in *A* verschiebbar gelagert und stützt sich mit seinem linken Ende gegen eine Spiralfeder. Der Mutterzylinder trägt ein an seiner Längsverschiebung teilnehmendes Mikroskop *B*, dessen Fuß *C* in einem der Meßrichtung parallelen Spalt geführt wird und so eine Drehung von *A* verhindert. Das Mikroskop ist auf einen Ausschnitt von *A* gerichtet, in dem eine auf *D* angebrachte Strichmarke sichtbar wird, wenn sich *D* unter Überwindung des Druckes der Gegenfeder nach links bewegt. Bei der Messung wird somit

A von der Mikrometerschraube so lange vorgetrieben, bis der Strich zwischen die Fäden von *B* fällt. Der gleichen Relativstellung von *A* und *D* entspricht der gleiche Meßdruck.

Die Meßmaschine wurde unter Guillaumes Leitung von Maudet und Perard eingehend untersucht. Die Teilungsfehler des Maßstabes wurden für sämtliche Zentimeterstriche bestimmt. Die gefundenen Fehler sind stellenweise beträchtlich, sodaß sie auch für technische Messungen, wie es wohl wünschenswert wäre, nicht vernachlässigt werden dürfen. Die Ganghöhe der Meßschraube zeigt einen geringen fortschreitenden Fehler, welcher bei geeigneter Anordnung der Messungen ohne Einfluß bleiben wird.

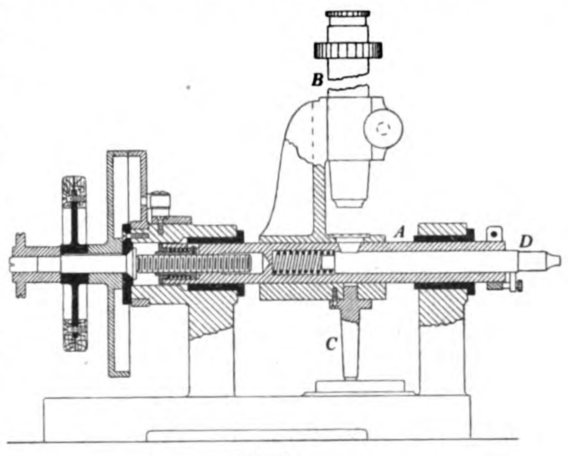


Fig. 2.

Eine erste umfassende Messungsreihe, bestehend in der Vergleichung von 5 nach Zentimeter abgestuften Endmaßen mit sphärischen Endflächen bis zu 500 *mm* Länge, ergab außerordentlich gute Resultate. Dabei ist indes zu berücksichtigen, daß bei diesen Messungen Temperaturunsicherheiten nicht merkbar werden konnten und außerdem die Nullpunkt-Bestimmungen umgangen wurden. Bei Bestimmung größerer Längen treten Unsicherheiten bis zu etwa $\pm 1 \mu$ auf, mit etwas systematischem Gange, der auf Verlagerung des Maßstabes zu deuten scheint. Es erwies sich als nicht angängig, die Null-Lage der Meßmaschine durch Kontakt beider Meßflächen herzustellen. Man bezog vielmehr alle Messungen auf ein 100 *mm*-Endmaß mit sphärischen Endflächen. Über die hierbei auftretenden Änderungen der Angaben der Meßmaschine gibt die Quelle nicht genügenden Aufschluß.

Da die Maschine ausgesprochen technischen Zwecken dienen soll, erscheint sie zu verwickelt gebaut. Ihre sichere und erfolgreiche Bedienung stellt an die Meßerfahrung und Kritik des Benutzers große Anforderungen. Die Verlegung des Druck-Indikators in die Meßschraube ist kaum zweckmäßig, denn durch Einfügung des beweglichen Anschiebezylinders in die gleichfalls bewegliche Mutter werden die Fehlerquellen der Meßschrauben nur vermehrt. Die Feststellung des gleichen Meßdrucks durch mikroskopische Einstellung einer Strichmarke ist recht einfach, gibt jedoch Einstellungsfehler etwa gleicher Größenordnung wie vom eigentlichen Ablesemikroskop über dem Maßstab. Dabei kann man die Ablesungsgenauigkeit an letzterem durch Häufung der Beobachtungen steigern, bei der Strichmarke nicht. Ref. vermag daher in der neuen Maschine eine Verbesserung gegenüber der bereits vorhandenen nicht zu erkennen. *G.*

Die Hohlschraube zur Bewegung von Kreisteilmaschinen.

In den Aufsätzen und Referaten in *dieser Zeitschr.* ***24.*** *S. 310. 1904;* ***25.*** *S. 69. 1905* und ***31.*** *S. 171. 1911* über die Einrichtungen des Hrn. G. Heyde in Dresden zur Bewegung von Teilmaschinen hätte irgendwo angeführt werden sollen, daß die Hohlschraube für diese Zwecke schon lange bekannt ist. Das Verdienst des Hrn. Heyde wird dadurch selbstverständlich in keiner Weise verringert; es besteht darin, die Bewegungs-Hohlschraube in einer den heutigen Genauigkeitsanforderungen genügenden Feinheit hergestellt zu haben. Die Hohlschraube wurde vor gerade 125 Jahren in England als dem gegen die Mitte des 18. Jahrhunderts berühmten Uhrmacher und Feinmechaniker John Hindley in York eigentümlich beschrieben von John Smeaton in seinem Aufsatz *„Observations on the graduation of astronomical instruments“* in den *„Philos. Transactions“*. Auszüge aus diesem Aufsatz finden sich übersetzt in der Schrift von J. G. Geißler „Über die Bemühungen der Gelehrten und Künstler, mathematische und astronomische Instrumente einzuteilen“ (Dresden 1792,

Waltherische Hofbuchhandlung); es ist aus dieser Schrift unten einiges wörtlich angeführt. Hindley hatte seine, nach Smeaton gegen 1740 entstandene Teilmaschine zunächst allerdings nur zum Schneiden von Uhrrädern bestimmt. Es war daran „ein Rad von 13 Zoll Durchmesser von ziemlicher Stärke in 360 Zähne geteilt, ..., in welche eine dazugehörige Schraube ohne Ende griff. Die Gänge dieser Schraube waren nicht über eine zylinderförmige Oberfläche, sondern über einen dichten Körper, dessen Seiten nach Zirkelbögen bestimmt waren. Ihre ganze Länge betrug 15 Gänge, und so wie jeder Gang (an der Seite gegen dem Rade) gegen deren Mittelpunkt zulief, so waren alle 15 Gänge in beständigem Eingreifen, das so genau war, daß sich zu meinem (Smeatons) größten Staunen die Schraube mit der möglichsten Freiheit herumdrehte, während daß sie in die Zähne des Rades einfiel, und das Rad ohne Spielraum oder Klemmung, und ohne das geringste Merkmal von Ungleichheit bewegte".

Hier ist also die Hohlschraube in aller Deutlichkeit beschrieben. Smeaton macht ferner einige Mitteilungen über die Art der *Herstellung* dieser „gekrümmten" Schraube: Hindley habe ihm das Schneidzeug für seine Schraube gezeigt, die Herstellung der Teilscheibe aber „sich vorbehalten". Er teilt ferner noch mit, wie Hindley überhaupt auf den Gedanken kam, Rad und Schraube ineinander greifen zu lassen „wie ein optisches Glas in seine Schleifschale". Der „große Künstler" wollte eine gekrümmte Schraube haben, „welche in 15 Zähne oder Grade der Teilungsscheibe auf einmal zugleich einfiele. Dies gab dann auch in der Tat ein paar Zirkelbögen, welche 24-mal überschlagen den ganzen Zirkel durchgingen, und auf ihn eine 24-malige Berichtigung erzeugten. Jeder also, welcher den überaus großen Grad der Genauigkeit einsieht, welcher dadurch entsteht, wenn Flächen unmittelbar miteinander in Berührung kommen, so wie ich bereits angemerkt habe, wird hieraus einsehen, daß notwendig alle Fehler, die sich während dem Einschneiden des Rades etwa ereignet haben dürften, völlig aufgehoben werden". *Hammer.*

Versuche mit flüssigem Helium.

Von H. Kamerlingh Onnes. *Communic. Phys. Labor. Univers. Leiden Nr. 119. S. 3—26. 1911; Nr. 120 b. S. 3—5. 1911; Nr. 122 b. S. 13—15. 1911.*

In der ersten Mitteilung beschreibt der Verf. Versuche mit flüssigem Helium, die in der Weise ausgeführt sind, daß das flüssige Helium in dem Gefäß gelassen wurde, in dem seine Herstellung erfolgte, während in der zweiten Mitteilung die Resultate einiger Versuche mitgeteilt werden, bei denen es schon geglückt war, das Helium in ein anderes, zum Experimentieren geeigneteres Gefäß überzuführen. Die dritte Mitteilung bildet eine Ergänzung der zweiten.

Das flüssige Helium wurde wie früher[1]) mit Hilfe des Joule-Thomson-Effektes unter Benutzung des Linde-Hampsonschen Gegenstromprinzipes erzeugt. Als Kühlmittel wurden flüssige Luft und flüssiger Wasserstoff benutzt. Zur Kompression des Heliumdampfes diente ein modifizierter Cailletetscher Kompressor mit Quecksilberkolben. Von den bei der ersten Verflüssigung erhaltenen Resultaten mag rekapituliert werden, daß das flüssige Helium farblos und sehr wenig zähe ist und die Dichte 0,15 sowie eine sehr kleine Kapillarkonstante besitzt. Der Siedepunkt bei normalem Druck liegt etwa bei 4,5° abs., die kritische Temperatur oberhalb 5° abs.; der kritische Druck beträgt nur 2 bis 3 Atm. Für die Größe a der van der Waalsschen Gleichung, die der Anziehungskraft der Molekel entspricht, ergibt sich ein sehr kleiner Wert, nämlich ungefähr 0,00005, für die dem Molekularvolumen Rechnung tragende Größe b ungefähr der Wert 0,0007.

Bei den in der Mitteilung Nr. 119 beschriebenen Versuchen wurde der Heliumdampf mittels einer Burkhardtschen Vakuumpumpe von 360 *cbm* Förderung pro Stunde abgesaugt, damit das Helium zur Erzielung möglichst tiefer Temperaturen unter stark vermindertem Druck verdampfen konnte. Der Druck des Heliumdampfes vor dem Ausströmungsventil

[1]) *Communic. Nr. 108. 1908.*

zur Kammer mit flüssigem Helium betrug bei der Herstellung des letzteren etwa 50 Atm.; zur dauernden Ergänzung der verdampften Flüssigkeit genügte die Kompression auf 25 Atm. Der Stand des flüssigen Heliums wurde nicht wie früher durch Thermoelemente, sondern durch ein Heliumthermometer angezeigt; an der Bewegung des Quecksilbers in dem Kapillarrohr desselben konnte der Stand der Flüssigkeitsoberfläche verfolgt werden. Auch die eigentliche Temperaturmessung im flüssigen Helium erfolgte mit einem Heliumthermometer, und zwar mit einem Thermometer von konstantem Volumen und einem Anfangsdruck von 14,5 *cm* Quecksilbersäule bei 0° C. Bei der niedrigsten Temperatur, die erzielt wurde (etwa 1,5° abs.), betrug der Gasdruck im Thermometer etwa 1,2 *mm*.

Außer den Thermometergefäßen befand sich im flüssigen Helium ein auf einen Glaszylinder aufgewickelter Platinwiderstand, ein Dilatometer zur Dichtigkeitsbestimmung des flüssigen Heliums, ein ähnlichen Zwecken wie ein Fadenthermometer dienendes Hilfsdilatometer sowie ein Kupferstab, der in Ermangelung eines Rührwerkes zum Ausgleich der Temperatur im flüssigen Helium verwandt wurde.

Das Dilatometer wurde beim Siedepunkt des Heliums bei bestimmtem Druck mit einem gemessenen Volumen von Helium gefüllt. Die angeführten Messungen ergaben das seltsame Resultat, daß das flüssige Helium in der Nähe von 2° abs. einen Punkt größter Dichtigkeit besitzt. Beim Abkühlen von 2,37° auf 1,48° abs. erfolgte nämlich ein Ausdehnen des Heliums. Der Verf. diskutiert die verschiedenen Folgerungen, die man hieraus in molekular-theoretischer Hinsicht ziehen kann, insbesondere bezüglich der Größen a und b der van der Waalsschen Gleichung für Helium. Für die Dichte des flüssigen Heliums bei etwa 4,3° abs. ergab sich der Wert 0,122.

Die Bestimmung der Dampfdrucke des Heliums in Abhängigkeit von der Temperatur zeigte, daß die van der Waalssche empirische Formel

$$\log \frac{p}{p_k} = f\left(1 - \frac{T_k}{T}\right),$$

in der T_k die kritische Temperatur, p_k den kritischen Druck und f einen Zahlenkoeffizienten bedeutet, für Helium nicht gültig ist. Der Wert von f war bei 4,29° abs. etwa 1,2 und sank bei tieferen Temperaturen so stark, daß sich als Mittelwert von f etwa 0,9 ergab. Für andere Substanzen, bei denen T_k unter 0° C. liegt, beträgt nach sonstigen Messungen der Wert von f etwa 2,2. Der niedrigste Dampfdruck des Heliums, den Verf. erzielte, war 0,15 *mm*. Ihm entspricht nach den gewonnenen Resultaten etwa die Temperatur 1,15° abs.

Im Anschluß an einige Beobachtungen über die Dichte des Heliumdampfes bei verschiedenen Temperaturen zieht der Verf. Schlüsse bezüglich der reduzierten van der Waalsschen Zustandsgleichung, insbesondere bezüglich der Größe des „Mathias-Halbmessers“, auf welche indessen hier nicht einzugehen ist.

Aus den Messungen an dem Platinwiderstand folgt, daß entgegen der früheren Annahme des Verf., die auch von anderer Seite geteilt wurde, der Widerstand der Metalle beim absoluten Nullpunkt nicht unendlich groß ist, sondern vielmehr einen sehr kleinen Wert annimmt. Bei 14,2° abs. war für den Platinwiderstand das Verhältnis des gemessenen Widerstandes zu dem bei 0° C. vorhandenen gleich 0,0135, zwischen 4,3° und 1,5° abs. aber gleich 0,0119. Diesen konstanten Widerstand, der übrig blieb, glaubt Verf. auf Verunreinigungen des Platins zurückführen zu können.

Diese Ansicht wird durch die in Mitteilung Nr. 120 b angegebenen Resultate neuester Versuche gestützt. Nach denselben ist der Widerstand von reinstem Gold bei der Temperatur des flüssigen Heliums experimentell nicht mehr sicher feststellbar. Der Widerstand von reinem Quecksilber beträgt bei 13,9° abs. noch 0,034 von dem Wert, der sich bei 0° C. durch Extrapolation des Widerstandes von festem Quecksilber ergibt. Bei 4,3° abs. hat dieses Verhältnis nur noch den Wert 0,0025, und bei 3° abs. sinkt es unter 0,0001 nach den Angaben in der Mitteilung Nr. 122 b sogar unter $1 \cdot 10^{-7}$.

An die experimentellen Befunde über den Widerstand von Metallen in der Nähe des absoluten Nullpunktes knüpft der Verf. elektronentheoretische Betrachtungen, bei denen

er sich an die Elektronentheorie der Metalle nach Drude und Riecke und an die Einsteinsche Theorie der spezifischen Wärme anschließt. Wegen der Schlüsse, zu denen der Verf. hierbei gelangt, sei auf das Original verwiesen.

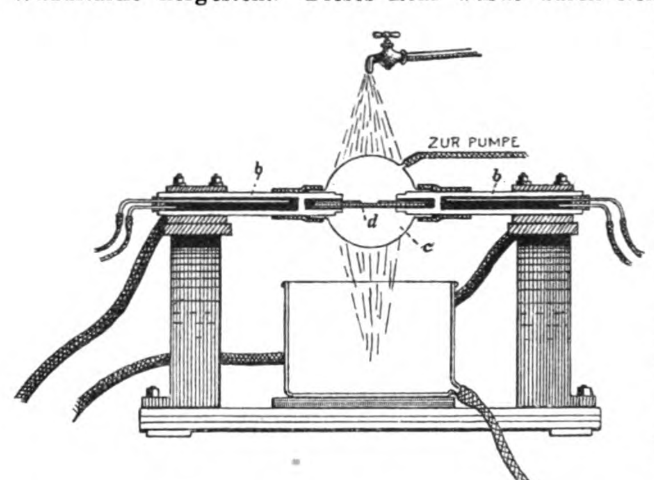
Erwähnt mag noch werden, daß der Verf. sich davon überzeugt hat, daß das Helium selbst, in das die Metalle nackt eintauchen, ein vollkommener Nichtleiter ist.

Die ausführliche Beschreibung der Methode, nach der das Helium bei den letzten Versuchen von der Erzeugungsstelle in andere Gefäße übergeführt wurde, behält der Verf. einer späteren Mitteilung vor. *Msfr.*

Ein Wolfram-Widerstandsofen.

Von Fr. Fischer und E. Tiede. *Ber. d. Deutsch. chem. Gesellsch.* **44.** *S. 1717. 1911.*

Nach dem von H. v. Wartenberg (*Zeitschr. f. Elektrochem.* **15.** *S. 867. 1909*) angegebenen Verfahren haben die Verf. ein Wolframrohr von 8 *cm* Länge, 1,6 *cm* Durchmesser und 3 *mm* Wandstärke hergestellt. Dieses Rohr wurde durch elektrischen Strom (bis 3000 Watt) *im Vakuum* zum Glühen gebracht und bildete den wesentlichen Teil eines Ofens, der sich für Temperaturen, bei denen Platin bereits versagt, gut bewährte.



Das Wolframrohr *d* (vgl. die Figur) saß durch Reibung fest in den ausgebohrten Kupferzylindern *b b*, die den durch einen Transformator gelieferten Wechselstrom zuführten. Die andern Enden der Kupferstäbe waren ebenfalls ausgebohrt, um durch eine Wasserspülung kühl gehalten zu werden. Dadurch war es möglich, die Ansatzröhren der Glaskugel *c* durch gefetteten Gummischlauch mit den Stromzuführungen zu verbinden und um das Wolframrohr einen gasdichten Raum herzustellen, der sich beliebig evakuieren ließ. Während der Heizung wurde die Kugel mit Wasser berieselt.

Die Verf. haben den beschriebenen Ofen verwendet, um das äußerst schwer flüchtige Zinn, das erst kurz vor dem Platinschmelzpunkt lebhaft zu sieden beginnt, im Vakuum zu verdampfen. Sie bohrten ein Loch in den Mantel des Wolframrohres und setzten in dasselbe ein Tiegelchen aus Magnesia, das sie mit 1,5 *g* Zinn beschickten. Der ganze Inhalt des Tiegels ließ sich in 5 Minuten vollständig fortdestillieren und schlug sich an den kälteren Teilen als blanke Tröpfchen oder als schwarzer Beschlag nieder. *Hng.*

Neues Gitterspektroskop und ein Gitterspektrograph mit variabler Dispersion zu Untersuchungen über Absorptionsspektra.

Über die Messung und Bestimmung der Absorptionsspektra.

Von O. Schumm. *Hoppe-Seylers Zeitschr. f. physiolog. Chem.* **66.** *S. 287. 1910.*

1. Der für klinische und physiologisch-chemische Untersuchungen bestimmte Apparat verdankt seine Entstehung der Überzeugung des Verf., daß ein Universalspektralapparat im eigentlichen Sinne des Wortes nicht existiert und daß man deshalb besser den Forschern für die verschiedenen Zwecke geeignete Spezialapparate zugänglich machen solle. Wie beim Löweschen Gitterspektroskop (*diese Zeitschr.* **28.** *S. 262. 1908*) ruhen die optischen Teile des Apparats auf einer horizontalen Schiene, die von einem Metalldreifuß getragen wird. Der symmetrische Spalt und also auch die Gitterlinien liegen horizontal. Das Gitter ist mitten

auf der genannten Schiene in einem festen Rahmen gelagert, der zugleich den Objektivteil des Kollimators und Zapfen für das drehbare Fernrohr trägt. Die Drehung erfolgt durch eine Mikrometerschraube, die mit einer in 100 Teile geteilten Meßtrommel versehen ist, in vertikaler Richtung zur Einstellung auf eine beliebige Wellenlänge. Gewöhnlich werden Objektive von 20 *cm* Brennweite benutzt. Von den drei zur Verfügung stehenden Gittern mit etwa 3600, 7200 und 14 400 Furchen auf einen englischen Zoll wird das erstere am meisten angewandt. In einer Schlittenführung läßt sich, um zwei Spektra gleichzeitig beobachten zu können, vor den Spalt ein Hüfnersches Rhomboeder schieben. Außerdem ist vor dem Spalt ein Objekttischchen angebracht. Eine besondere Schiene, auf der eine Lichtquelle (Nernst-Lampe, Heliumröhre), ein Kondensor und andere Hilfsvorrichtungen verschiebbar angebracht sind, läßt sich bequem an dem Apparat befestigen. Absorptionsbestimmungen werden meist mit Auer- oder Nernst-Licht ausgeführt.

Das Beobachtungsfernrohr kann leicht aus seinem Stutzen herausgezogen und durch eine Spektralkamera ersetzt werden. Der Verf. gibt eine ganze Reihe Spektralaufnahmen (von Blutpräparaten) mit und ohne Benutzung des Hüfnerschen Glaskörpers, die die Leistungsfähigkeit des Apparates zeigen. Das Objektiv hatte hierbei eine Brennweite von 27 *cm*.

2. Um die Absorptionserscheinung im Spektrum ausreichend zu charakterisieren, muß man den Ort jedes Streifens in Wellenlängen, seine Breite ebenfalls in Wellenlängen und in manchen Fällen die relative Intensität der Streifen bestimmen.

Für die letztere Bestimmung wird man sich mangels hinreichend einfacher photometrischer Methoden begnügen, die relative Intensität verschiedener Streifen desselben Spektrums nach dem optischen Eindruck zu charakterisieren.

Am wichtigsten ist die Ortsbestimmung eines Streifens. Man führt sie aus, indem man die Absorptionsflüssigkeit soweit verdünnt, daß der Streifen noch deutlich sichtbar ist. Hat ein Spektrum mehrere Streifen, so muß man für jeden die geeignete Verdünnung suchen. Nun wird die Marke im Meßokular auf die dunkelste Stelle eingestellt und an der Meßtrommel die Wellenlänge abgelesen. Man wird etwa eine Genauigkeit von 1 $\mu\mu$ erreichen können.

Eine Vervollständigung der Charakterisierung des Streifens ist durch Angaben über seine Breite möglich. Sie hat aber nur einen Zweck, wenn man alle Bedingungen kennt, unter denen das Spektrum erzeugt ist, also alle Daten über die Helligkeit des Spektrums vor Einschaltung der untersuchten Substanz sowie die Schichtdicke und Konzentration der Flüssigkeit.

Man kann auch den Ort und die Breite eines Streifens auf photographischem Wege bestimmen. Man darf aber nicht glauben, auf diesem Wege weniger subjektive Ergebnisse zu erhalten; vielmehr können schon durch die verschiedene Empfindlichkeit der Platten für verschiedene Wellenlängen die Resultate gefälscht werden. An der Grenze des sichtbaren Violetts und im Ultraviolett ist man freilich auf die photographische Methode angewiesen.

Man verfährt so, daß man neben dem untersuchten Absorptionsspektrum zum Vergleich ein geeignetes Emissionsspektrum, z. B. das Heliumspektrum, photographiert. Dann bestimmt man die dunkelste Stelle des Absorptionsstreifens durch Rechnung aus der Lage zu benachbarten Heliumlinien. Zum Ausmessen der Spektra dient ein schwach vergrößerndes Meßmikroskop oder ein Glasmaßstab. *E. Br.*

Präzisionsspektroskop mit horizontaler Spaltlage.

Von O. Schumm. *Hoppe-Seylers Zeitschr. f. physiolog. Chem.* **67.** *S. 304. 1910.*

Der Apparat dient demselben Zwecke wie das im vorstehenden Referat beschriebene Gitterspektroskop. Das letztere ist nach Ansicht des Verf. in vielen Fällen empfehlenswerter als ein Prismenapparat, es erfordert aber häufig eine sehr helle Lichtquelle, die nicht immer zugänglich ist (Nernst-Lampe); ferner leiden die Gitter vielfach durch Staub, Dämpfe u. s. w. Deshalb ist auch der Besitz eines geeigneten Prismenspektroskops erforderlich.

In seiner äußeren Anordnung ist der Apparat dem König-Martensschen Spektrophotometer ähnlich. Die Metallschiene, die die Hauptteile trägt, ist an den Enden auf festen Böcken gelagert. Das kastenartige Prismengehäuse dient als Halter für das Objektivende des Kollimators und als Lager für die Zapfen, um die sich das Fernrohr dreht. Zur genauen Wellenlängenbestimmung dient auch hier eine Meßtrommel an der Mikrometerschraube. Außerdem ist die übliche an einer Prismenwand gespiegelte Wellenlängenskale angebracht. Letztere wird durch einen Spiegel erhellt, der sein Licht von der den Spalt beleuchtenden Lichtquelle empfängt. Das Spaltende des Apparats ist wieder mit einem Hüfner-Rhomboeder und einem Objekttisch ausgerüstet. Die Objektive haben 30 *mm* Öffnung und 160 *mm* Brennweite. *E. Br.*

Wechselstromapparate auf neuer Grundlage.

Von H. Abraham. *Journ. de phys.* **1.** *S. 264. 1911.*

Es ist schon mehrfach[1]) versucht worden, Drehspul-Galvanometer für Wechselstrommessungen dadurch brauchbar zu machen, daß man den permanenten Magneten durch einen Elektromagneten ersetzt, der von Wechselstrom erregt wird. Eine gewisse Schwierigkeit entsteht bei diesen Apparaten dadurch, daß in der beweglichen Spule, sobald sie aus der bei Stromlosigkeit üblichen Gleichgewichtslage herausgedreht wird, eine elektromotorische Kraft entsteht, die zu Strömen Veranlassung gibt. Diese Störung, die Abraham früher dadurch beseitigte, daß er einen Kondensator passender Größe der abgelenkten Spule parallel schaltete, wird jetzt von ihm als *Richtkraft* ausgenutzt.

Bei den neuen Apparaten besitzt das bewegliche System, wenn die Spulen stromlos sind, gar keine Richtkraft; die dünnen Silberbänder, welche die Stromzuführungen zum beweglichen System bilden, sind so angeordnet, daß sie kein nennenswertes Drehmoment ausüben. Werden nun die Spule der Magnetwicklung und die Spule des beweglichen Systemes von Wechselströmen durchflossen, so wird letztere im allgemeinen aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt. Je größer aber die Ablenkung ist, eine um so größere elektromotorische Kraft entsteht durch den durch die Spule tretenden Induktionsfluß. Der dadurch entstehende Strom setzt sich mit dem ablenkenden Strome zu einem resultierenden Strom zusammen, dessen Phase mit der Größe der Ablenkung allmählich geändert wird; beträgt die Phasendifferenz zwischen resultierendem Strom und Magnetfeld 90°, so kommt das bewegliche System zum Stillstand. Die induzierten Ströme bilden also gewissermaßen eine elektromagnetische Richtkraft. Man übersieht leicht, daß die neue Gleichgewichtslage von der Stärke der äußeren Wechselspannung ziemlich unabhängig, dagegen von anderen Konstanten des Wechselstromes abhängig gemacht werden kann. Es werde z. B. ein Wechselstromnetz PP' (Fig. 1) durch den Elektromagneten E des Galvanometers und einen dahinter geschalteten kleinen Widerstand r_1 geschlossen und parallel durch einen großen Widerstand r_2 und die primäre Spule eines kleinen Lufttransformators T. Die bewegliche Spule B des Galvanometers ist von dem Widerstand r_1 unter Zwischenschaltung der sekundären Spule von T abgezweigt. Auf den abgezweigten Kreis wirkt erstens der Spannungsabfall an r_1, der nahezu umgekehrt proportional der Frequenz ist, und die in der Sekundärwicklung von T induzierte elektromotorische Kraft, die man nahezu proportional der Frequenz setzen kann.

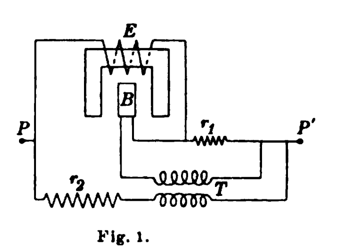


Fig. 1.

Während also die Ablenkung von B von der Größe der Spannung PP' nahezu unabhängig ist, wird sie durch die Frequenz stark beeinflußt. Die Richtkräfte sind so groß, daß man den Apparat sogar als *registrierenden* Frequenzmesser ausbilden kann.

Ändert man die Schaltung dahin ab, daß der sekundäre Kreis T den Hauptzweig einer Wheatstoneschen Brücke bildet, in dessen Brückenzweig das bewegliche System B eingeschaltet wird, so hat man damit einen direkt zeigenden Widerstandsmesser geschaffen.

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **26.** *S. 350. 1906.*

Ähnliche Anordnungen lassen sich zur direkten Messung von Induktivität und Kapazität angeben.

Eine weitere Anwendung besteht darin, den neuen Apparat zur Übertragung der Bewegung der Systeme empfindlicher Apparate wie Galvanometer, Seismographen u. a. zu benutzen. Zu dem Zweck wird das System, dessen Bewegung übertragen werden soll, mit der Spule B_1 des Galvanometers G_1 gekoppelt (Fig. 2). B_1 ist durch einen Kondensator C und parallel dazu durch einen Widerstand R geschlossen; von R führt eine weitere Abzweigung durch eine Selbstinduktion L zur Spule B_2 des Galvanometers G_2, auf welche die Bewegungen von B_1 übertragen werden sollen. Der Kondensator C wird so abgeglichen, daß die in B_1 bei der Ablenkung induzierten Ströme mit dem magnetischen Feld in G_1 eine Phasenverschiebung von 90° bilden, sodaß auf B_1 dadurch keinerlei Kraft ausgeübt wird, und B_1 ungehindert den zu übertragenden Bewegungen folgen kann. Die in B_1 induzierten Ströme gelangen nun nach B_2 und bewirken hier eine Ablenkung; denn durch geeignete Abmessung von L kann man erreichen, daß die bei der Ablenkung in B_2 entstehenden Induktionsströme, wie oben beschrieben, als elektromagnetische Richtkraft für den Apparat G_2 dienen.

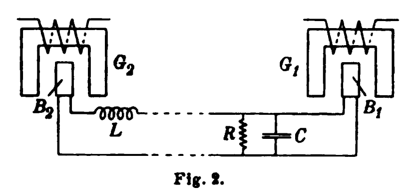


Fig. 2.

Nun gelangt aber ein Teil der in B_2 induzierten Ströme auch nach B_1; sie dürfen aber auf B_1 keine Kräfte ausüben; das wird dadurch erreicht, daß man dem Wechselstrom, welcher das Feld von G_2 erregt, eine andere Phase gibt als demjenigen der Felderregung von G_1.

Der Verf. gibt an, daß es ihm auf diesem Wege gelungen ist, die Bewegungen eines empfindlichen Galvanometers mit einer Schreibfeder zu registrieren. Die Apparate werden von J. Carpentier in Paris angefertigt. *E. O.*

Glimmerkondensatoren als Kapazitätsnormale.

Von H. L. Curtis. *Bull. of the Bureau of Standards* **6.** *S. 431—488. 1911.*

Die umfangreichen Untersuchungen wurden zu dem Zwecke unternommen, den Einfluß der dielektrischen Verluste bei Gleich- und Wechsel-Strom auf den nach verschiedenen Methoden gemessenen Kapazitätswert festzustellen, ferner um den Einfluß von Temperatur und Luftdruck zu bestimmen sowie diejenigen Bedingungen aufzufinden, unter welchen Glimmerkondensatoren zeitlich möglichst unveränderlich erhalten werden können.

Es wurden der Hauptsache nach vier verschiedene Meßmethoden angewandt: 1. Absolute Messung der Kapazität, bezogen auf Sekunde und internationales Ohm, nach Maxwells Methode durch periodische Ladung und Entladung mit rotierendem Unterbrecher; 2. Vergleichung zweier Kapazitäten mit Wechselstrom; 3. Vergleichung einer Kapazität mit einer Selbstinduktion nach der Andersonschen Methode; 4. Vergleichung zweier Kapazitäten mit Gleichstrom. Bei den relativen Methoden 2 und 4 diente als Vergleichsnormal ein Luftkondensator, dessen absoluter Wert nach Methode 1 gemessen war. Die Relativmethode 3 wurde meist nur zur Prüfung der zeitlichen Konstanz der Kondensatoren benutzt.

Die Methode 2 wurde in zwei verschiedenen Schaltungen angewandt. Die Zweige 1 und 2 einer Wheatstoneschen Brücke $\frac{1\,2}{3\,4}$ enthalten die zu vergleichenden Kapazitäten, die Zweige 3 und 4 reine Widerstände. Da nun infolge der dielektrischen Verluste die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung für Glimmerkondensatoren nicht genau 90° beträgt, sondern um einen gewissen kleinen Winkel, die „Phasenabweichung" kleiner ist als 90°, so kann eine vollständige Nulleinstellung der Brücke nur erreicht werden, wenn Phasengleichheit in den entsprechenden Brückenzweigen hergestellt wird. Zu diesem Zwecke wird entweder in der bekannten Weise zu einem der Kondensatoren ein Widerstand in Serie oder in einer anderen Schaltung eine Selbstinduktion von regelbarem Betrage in einen der Zweige 3 und 4 eingeschaltet.

Die Kapazitätsvergleichung mit Gleichstrom geschah nach der von W. Thomson im wesentlichen angegebenen Differenzmethode. Die beiden Kapazitäten werden geladen, dann

gegen einander entladen; die übrigbleibende Ladungsdifferenz wird durch ein ballistisches Galvanometer gemessen. Die Aufladung beider Kondensatoren erfolgt durch dieselbe Batterie; die Spannung, die an den Kondensatoren liegt, wird durch zwei Widerstände so reguliert, daß das Galvanometer keinen Ausschlag ergibt, daß also die freien Ladungen auf beiden Kondensatoren einander entgegengesetzt gleich sind; dies letztere gilt jedoch nur für die Messung rückstandsfreier Kondensatoren, also für Luftkondensatoren; bei Glimmerkondensatoren kommt zu der freien Ladung ein mit der Entladungsdauer wachsender Teil der vom Dielektrikum absorbierten Elektrizitätsmenge hinzu. Die nach dieser Methode gemessenen scheinbaren Kapazitätswerte sind also abhängig von der Entladungsdauer, ebenso von der Ladungsdauer, denn diese vergrößert den Betrag der absorbierten Elektrizitätsmenge, endlich auch von der Einschaltungsdauer des ballistischen Galvanometers. Bei hinreichend kurzer Einschaltungsdauer fällt der letztgenannte Einfluß fort.

Zur praktischen Ausführung der Messungen nach dieser Methode hat der Verf. einen besonderen Umschaltapparat mit Schleifkontakten konstruiert, dessen Kontaktbürsten durch einen Motor bewegt werden, sodaß durch verschiedene Tourenzahlen und verschiedene Schleifkontaktlängen verschiedene, meßbare Zeiten für Ladung und Entladung eingestellt und überdies die aufeinanderfolgenden Umschaltungen periodisch wiederholt werden können. Die so bestimmte „zyklische" Kapazität ist für einen und denselben Glimmerkondensator größer als die „azyklische" Kapazität, die bei gleicher Ladungs- und Entladungszeit aber nur einmaliger Ladung und Entladung gemessen wird, weil im ersten Falle die gesamte absorbierte Elektrizitätsmenge nach mehreren Zyklen größer ist als im zweiten Falle. Natürlich muß bei Messung der azyklischen Kapazität für vorherige vollständige Entladung des Kondensators Sorge getragen, also ein Rückstand von früheren Ladungen vollständig beseitigt werden.

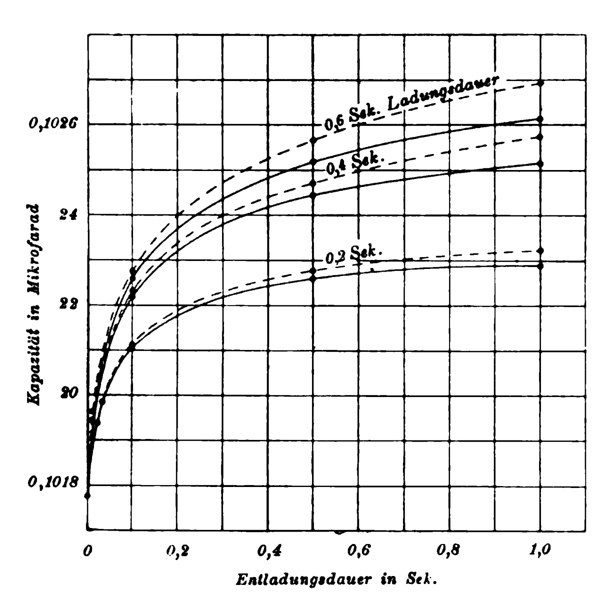


Fig. 1. Zyklische (— — —) und azyklische (——) Kapazität bei verschiedener Ladungs- und Entladungsdauer.

Die Unterschiede der nach den verschiedenen Methoden gemessenen scheinbaren Kapazitätswerte sind aus den Fig. 1 und 2 als Beispielen ersichtlich. Fig. 1 zeigt die zyklische und azyklische Gleichstromkapazität für denselben Kondensator in Abhängigkeit von Ladungs- und Entladungsdauer, Fig. 2 für einen anderen Kondensator die zyklische Gleichstromkapazität und die Wechselstromkapazität, wobei in letzterem Falle als Abszissen die Periodendauern, d. h. die reziproken Werte der zwischen 12,5 und 1200 liegenden Frequenzen gewählt sind. Man erkennt aus dem Verlauf der Kurven, daß einerseits der für die gleiche Entladungsdauer gemessene Unterschied zwischen zyklischer und azyklischer Kapazität sowie der Einfluß der Ladungsdauer mit abnehmender Entladungsdauer immer geringer wird, und daß anderseits die bei gleicher Entladungs- bezw. Periodendauer bestehende Differenz zwischen zyklischer Gleichstromkapazität und der Wechselstromkapazität ebenfalls mit abnehmender Entladungs- bezw. Periodendauer immer mehr verschwindet. Der Verf. zieht daher den Schluß, daß alle Kurven, auf die Zeit Null extrapoliert, denselben Kapazitätswert ergeben, die „geometrische" Kapazität, die durch die Dimensionen des Kondensators und die Dielektrizitätskonstante bestimmt ist. Demnach wird die geometrische Kapazität durch Messung mit Wechselströmen hoher Frequenz, etwa über 1000, sehr nahe richtig gefunden,

und oberhalb etwa 1000 würde die Kapazität von Glimmerkondensatoren bereits nahezu unabhängig von der Frequenz sein, was allerdings experimentell nur innerhalb der bei hohen Frequenzen geringeren Meßgenauigkeit bestätigt werden konnte.

Aus dem reichhaltigen vom Verf. mitgeteilten Beobachtungsmaterial geht hervor, daß bei allen Glimmerkondensatoren die Kurven qualitativ einen den Fig. 1 und 2 ähnlichen Verlauf haben; quantitativ treten aber bei verschiedenen Kondensatoren recht bedeutende Unterschiede auf, so zwar, daß aus dem Verhalten eines Kondensators bei Gleichstrom keineswegs Schlüsse auf seine Eigenschaften bei Wechselstrom gezogen werden können. So ist z. B. für einzelne Kondensatoren bei Wechselstrom die Abhängigkeit von der Frequenz nur gering, während bei der Gleichstrommessung die Entladungsdauer den scheinbaren Kapazitätswert verhältnismäßig stark beeinflußt, und umgekehrt. Im allgemeinen gilt qualitativ, daß sich ein Kondensator bei Gleich- bezw. Wechselstrom um so günstiger verhält, d. h. daß seine Kapazität um so unabhängiger von der Entladungsdauer bezw. Frequenz ist, je geringer die „Absorption" bezw. die Phasenabweichung ist. Dabei wird unter Absorption die gesamte in 1 Sek. absorbierte Ladung in Prozenten der freien Ladung verstanden. Die Absorption beträgt 0,2 bis 1 Prozent und nimmt stark mit wachsender Temperatur zu, bis zu 100 Prozent in dem Intervall von 15° bis 30°. Die ebenfalls mit der Temperatur zunehmende, nach Methode 2 bestimmte Phasenabweichung ist sehr klein, zwischen 1 bis 8 Minuten, und nimmt mit wachsender Frequenz ab; jedoch kann bei guten Glimmerkondensatoren die Phasenabweichung, d. h. der Energieverlust für 1 Periode, als nahezu unabhängig von der Frequenz, der Energieverlust für 1 Sekunde also als proportional der Frequenz angesehen werden.

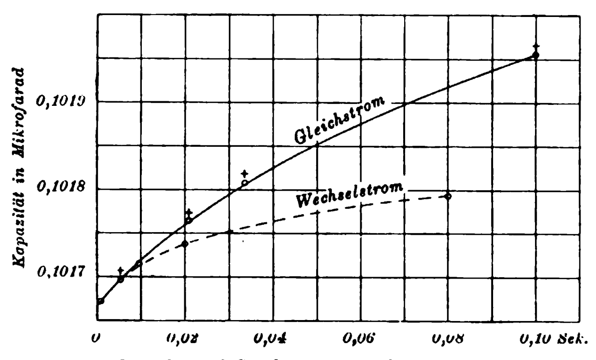


Fig. 2.
Zyklische Gleichstrom-Kapazität und Wechselstrom-Kapazität.
Ladungsdauer bei Gleichstrom 0,2 Sek.

Die nach der absoluten Methode 1 gemessenen scheinbaren Kapazitätswerte hängen nicht allein von der Frequenz, sondern auch bei konstanter Frequenz von der Ladungs- und Entladungs-Dauer ab.

Quantitativ lassen sich die verschiedenen scheinbaren Kapazitäten nicht in Beziehung zueinander bringen, auch lassen sich die Kurven der Fig. 1 und 2 jede für sich nicht durch eine einfache Funktion mit 2 Konstanten, etwa von logarithmischer Form, darstellen. Die Maxwellsche Theorie der geschichteten Dielektrika wird den Beobachtungen nicht gerecht.

Der Isolationswiderstand ist durchweg von der Größenordnung 10^{12} Ohm und hatte in keinem Falle Einfluß auf das Meßresultat. Abhängigkeit von der Spannung wurde nur bei einem Kondensator mit versilberten Glimmerblättern beobachtet.

Einfluſs der Temperatur. Jede scheinbare Kapazität eines Kondensators hat ihren eigenen Temperaturkoeffizienten, mit andern Worten, der Temperaturkoeffizient der Wechselstromkapazität bei der Frequenz 1000 ist verschieden von dem bei der Frequenz 100, und beide sind wiederum verschieden vom Temperaturkoeffizienten der Gleichstromkapazität. Der wahre Temperaturkoeffizient, d. i. der durch Messung bei Wechselstrom hoher Frequenz bestimmbare Temperaturkoeffizient der geometrischen Kapazität, ist für die gewöhnlichen Glimmerkondensatoren, bei welchen Paraffin einen Teil des Dielektrikums bildet, in der Regel negativ und beträgt meist einige Zehntel Promille für 1 Grad, schwankt jedoch bei verschiedenen Kondensatoren ziemlich beträchtlich und kann bis zu 0,1% pro Grad ansteigen. Nach einem von Rosa angegebenen Verfahren wird aber durch starkes Zusammenpressen der Konden-

satoren in warmem Zustande der Temperaturkoeffizient stark herabgesetzt (wobei allerdings die Kapazität bis zu 50% größer wird, sodaß eine Neuabgleichung auf den Sollwert erforderlich ist). Bei zehn verschiedenen Kondensatoren wurden folgende Temperaturkoeffizienten beobachtet:

vor dem Pressen im Mittel α etwa $-12\cdot 10^{-5}$,
nach „ „ „ „ $\alpha = -1$ bis $-5\cdot 10^{-5}$.

Die Temperaturkoeffizienten wurden in dem Intervall 15° bis 30° bei einzelnen Kondensatoren nahezu konstant, bei anderen ziemlich beträchtlich mit der Temperatur ansteigend gefunden, z. B. bei der Frequenz 1000 in dem Intervall 15° bis 20° $\alpha = -3\cdot 10^{-5}$, für 20° bis 25° $\alpha = -8\cdot 10^{-5}$, für 25° bis 30° $\alpha = -11\cdot 10^{-5}$. Die Unterschiede der mittleren Temperaturkoeffizienten für die verschiedenen scheinbaren Kapazitäten sind aus folgenden Beispielen für drei verschiedene Kondensatoren ersichtlich:

Kondensator Nr.	Wechselstrom			Gleichstrom Ladungsdauer 0,6 Sek.		
				Entladungsdauer		
	1200 ∼	100 ∼	50 ∼	0,1 Sek.	0,5 Sek.	1,0 Sek.
I	− 7	− 6	$-6\cdot 10^{-5}$	+ 1	+ 3	$+4\cdot 10^{-5}$
II	− 23	− 22	− 21 „	− 2	+ 3	+ 5 „
III	− 10	− 7	− 5 „	+ 13	+ 23	+ 28 „

Da der Temperaturkoeffizient der Gleichstromkapazität positiv, der der Wechselstromkapazität negativ ist, so wird mit wachsender Temperatur die Differenz zwischen beiden bei gleicher Dauer der Entladung und Periode immer größer. Die genaue Ermittlung der Temperaturkoeffizienten bietet Schwierigkeiten, einmal wegen der Unsicherheit der Temperaturbestimmung in den die Wärme schlecht leitenden Kondensatoren, dann aber auch, weil nach jeder Erwärmung eine dauernde Änderung der Kapazität, und zwar eine Zunahme bis zu einigen Zehntausendsteln, eintritt.

Der *Einfluſs des Luftdruckes* auf die Kapazität ist ebenfalls genauer untersucht; es ergab sich eine Abnahme der Kapazität mit abnehmendem Luftdruck von etwa 1 bis $2\cdot 10^{-5}$ für 1 *cm* Luftdrucksänderung. Die gewöhnlichen Luftdruckschwankungen sind also bei Präzisionsmessungen zu berücksichtigen.

Was endlich die zeitliche Konstanz betrifft, so wurden an Glimmerkondensatoren, die den gewöhnlichen Zimmertemperaturschwankungen ausgesetzt sind, Kapazitätsänderungen (nach Anbringung der Temperaturkorrektion) bis zu einigen Zehntausendsteln beobachtet. Aus diesem Grunde und wegen der starken Verschiedenheit der Temperaturkoeffizienten bei Gleich- und Wechselstrom müssen Glimmerkondensatoren bei konstanter Temperatur aufbewahrt werden, wenn sie als Kapazitätsnormale dienen sollen; sie bleiben dann gewöhnlich für längere Zeit bis auf etwa 1 Zehntausendstel konstant. Die Konstanz ist noch etwas besser, wenn die Kondensatoren auch vor Luftdruckschwankungen geschützt werden. Die Präzisionsnormale des *Bureau of Standards* sind in ein luftdichtes Gehäuse eingeschlossen und werden im Vakuum (1 *mm* Hg) sowie in einem Raum konstanter Temperatur (25°) aufbewahrt.

Aus den vorliegenden systematischen und eingehenden Untersuchungen über das Verhalten von Glimmerkondensatoren unter den verschiedensten Versuchsbedingungen ist ersichtlich, inwieweit solche Kondensatoren als Kapazitätsnormale dienen können. Gegenüber Luftkondensatoren haben ja Glimmerkondensatoren den großen Vorzug, daß sie sich bei geringem Gewicht und handlicher Form leicht in großen Kapazitätswerten herstellen lassen. Auch ist die zeitliche Unveränderlichkeit von Luftkondensatoren etwas geringer[1])

[1]) Nach dem vom Ref. an den Normalluftkondensatoren der Reichsanstalt (E. **Giebe**, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 269. 1909*) bisher gemachten Erfahrungen bleiben diese bei hinreichend großem Abstand (2 *mm*) der sie zusammensetzenden Platten auch in längerer Zeit innerhalb etwa 2 Zehntausendstel konstant.

als die von Glimmerkondensatoren, falls letztere, was allerdings ihre bequeme Benutzung beschränkt, nach Curtis dauernd bei konstanter Temperatur und im Vakuum aufbewahrt werden. Demgegenüber stehen aber die großen durch die dielektrischen Verluste bedingten Nachteile, von denen Luftkondensatoren völlig frei sind. Infolge des durch die vorliegende Arbeit festgestellten äußerst komplizierten Verhaltens der Glimmerkondensatoren sind zur Definition solcher Kapazitätsnormale eine ganze Reihe von Konstanten anzugeben, also durch Messungen zu ermitteln und dauernd zu kontrollieren (wozu überdies stets ein Luftkondensator erforderlich ist). Ein Luftkondensator ist dagegen, abgesehen von den sehr geringen Temperatur- und Luftdruckskoeffizienten, durch eine einzige Zahl, seine den einfachen Kondensatorgesetzen streng gehorchende Kapazität, definiert, die für alle oben angegebenen und beliebige andere Methoden genau denselben Wert hat und ihrem absoluten Betrage nach mit geeigneten experimentellen Hilfsmitteln leicht und ohne großen Zeitaufwand nach obiger Methode 1 mit großer Genauigkeit bestimmt werden kann[1]).

Nach Meinung des Ref. ist daher aus der vorliegenden Arbeit der Schluß zu ziehen, daß Glimmerkondensatoren in wesentlich geringerem Maße als Luftkondensatoren geeignet sind, Präzisionsnormale der Kapazität darzustellen. *Gb.*

Bücherbesprechungen.

P. Werkmeister, Vermessungskunde. 2 Bde. (Nr. 468 und 469 der „Sammlung Göschen“.) 12°. 176 und 183 S. m. 146 und 109 Abb. Leipzig, Göschen 1910. Geb. 1,60 M.

H. Hohenner, Geodäsie. Eine Anleitung zu geodätischen Messungen für Anfänger, mit Grundzügen der Hydrometrie und der direkten (astronomischen) Zeit- und Ortsbestimmung. 8°. XII, 347 S. m. 216 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1910. Geb. 12. M.

Es ist jetzt wirklich auch an Lehrbüchern der elementaren Vermessungskunde kein Mangel mehr, von kurzen Leitfäden für die einfachsten Messungen, wie sie z. B. an Baugewerkschulen eingeführt sind, bis zu den ausführlichsten Lehrbüchern für Feld- und Landmesser und Ingenieure.

Die beiden neuen Werke hier kurz zu besprechen ist deshalb geboten, weil die Verf. beide hervorheben, daß sie der *Instrumentenkunde* besondere Aufmerksamkeit widmen. In der Selbstanzeige des Werkmeisterschen Buchs heißt es: „Auf die Beschreibung, Untersuchung und Berichtigung der Instrumente wurde in beiden Bändchen Wert gelegt“, und das Vorwort Hohenners sagt ebenfalls: „Der Besprechung und Berichtigung der Meßinstrumente ist verhältnismäßig viel Raum zugewiesen.“ Beide Verf. weisen ferner auf die reichliche Ausstattung mit Figuren hin. Die Figuren des ersten Werkchens sind zum großen Teil zweckmäßig schematisiert, die des zweiten Buchs aber z. T. viel zu klein und undeutlich.

Die Schrift von Werkmeister behandelt im 1. Band Feldmessen und Nivellieren etwa innerhalb des Rahmens, wie es für die Techniker einer Baugewerkschule angezeigt scheint; der 2. Band bringt den Theodolit und seine Verwendung bei einigen Lagemessungen und Absteckungen (die trigonometrische Punktbestimmung wird auf 24 S. (12°) behandelt, ohne irgendwie auf die *Ausgleichung* einzugehen), sowie trigonometrische und barometrische Höhenmessung, endlich tachymetrische Messungen, sucht also ungefähr die Messungen des Bauingenieurs zu umfassen. Am Schluß der schon erwähnten „Selbstanzeige“ (die nur mit den Rezensions-Exemplaren versandt worden zu sein scheint) macht der Verf. die Bemerkung: „In der Behandlungsweise des Stoffes ist der Verf. vielfach den Wegen gefolgt, die von Herrn Dr. E. Hammer, Professor für Geodäsie an der Kgl. Technischen Hochschule in Stuttgart, bei seinen Vorträgen und seinen zahlreichen Aufsätzen, insbesondere in der Zeitschrift

[1]) Vgl. Giebe, *a. a. O.* Wegen der Einfachheit einer solchen absoluten Messung ist die zeitliche Konstanz für ein Kapazitätsnormal, als einer abgeleiteten Einheit, ein nicht so wichtiges Erfordernis als etwa für Widerstandsnormale.

für Vermessungswesen, eingeschlagen worden sind." Ich habe keinen Grund zu widersprechen; wer die Messungsformulare (und Figuren) des Verf. mit meinem „Übungsbuch" vergleicht (kürzlich im Buchhandel erschienen; Stuttgart, Metzler 1910), wird mir nicht verübeln, daß ich auch gerne die von mir geleiteten Übungen genannt gesehen hätte. Ich lehne aber selbstverständlich die Verantwortung ab für die bei jener Nachfolge mit unterlaufenen Ungenauigkeiten und Versehen, z. B. für die an den eben genannten Messungsformularen beliebten, oft ganz geringfügigen, dabei aber z. T. unzweckmäßigen Änderungen. Um nur einige Einzelheiten zu nennen, wie sie sich bei zufälligem Aufschlagen der Bändchen bieten: die Fig. 100 (2. Bd.) ist aus *dieser Zeitschr.* (die im Literaturverzeichnis aber nicht erscheint) ***16.*** *S. 164. 1896* oder aus dem Übungsbuch (Tab. 10) nicht genügend genau kopiert; niemand wird mit dem Verf. die reine Linearmethode bei der Kleinaufnahme der Lagemessungen als „Einbindeverfahren" bezeichnen wollen (1. Bd., *S. 50*, Fig. 51; vgl. ferner *S. 69*); bei dem Flächennivellementsstück (1. Bd., Fig. 146) fehlt der Maßstab, der nach der Zahl der eingetragenen Punkte (über deren Lagegewinnung der Leser nichts erfährt) nicht sehr klein sein kann, sodaß das dargestellte Flächenstück ganz geringe Ausdehnung hat; ich lasse nun selbstverständlich nicht das *Nivellier* zum Flächennivellement verwenden auf einem Geländeabschnitt, der auf Erstreckung von vielleicht 200 *m* Höhenunterschiede bis 33 *m* zeigt. Doch es ist hier nicht der Ort, weiter auf Einzelheiten einzugehen.

Der Verf. des zweiten Werks, das sich ebenfalls an *Anfänger* wendet, wird mit mir einverstanden sein, daß auch sein Buch in erster Linie nicht vom wissenschaftlichen, sondern vom didaktischen Standpunkt aus beurteilt sein will. Da glaube ich nun vor allem, daß sich ähnliche Bücher größere Beschränkung im Umfang des Stoffs auferlegen sollten; das vorliegende, das im Titel „als Anleitung zu geodätischen Messungen für Anfänger" bezeichnet ist, nach dem Vorwort aber „für die meisten technischen Zwecke ausreichen" soll, behandelt neben den üblichen feldmesserischen Kapiteln (in z. T. unverständlicher Mischung, z. B. Lage- und Höhenplan durch die Meßtischtachymetrie *vor* der einfachen Lageplanaufnahme mit Kreuzscheibe und Latten!) im VI. Abschnitt einen Abriß der Ausgleichungsrechnung, im XI. Grundzüge der Hydrometrie und im XII. die „direkte" Bestimmung der geographischen Koordinaten eines Punkts der Erdoberfläche und des Azimuts einer von ihm ausgehenden terrestrischen Richtung. Ich habe gegen das „direkt" um so weniger einzuwenden, als ich ja seit Jahren den Ausdruck zur einfachen deutlichen Unterscheidung von den geodätisch übertragenen geographischen Positionen empfehle; aber was soll denn überhaupt das Kapitel in einem Buch über die *Elemente* der Geodäsie? Es ist doch gar keine Berührung mit den übrigen Abschnitten vorhanden, da von der *geographischen* Landmessung (wie der Ref. die Intineraraufnahme u. s. f. zu bezeichnen pflegt) mit keinem Wort die Rede ist, sondern nur von den elementar-geodätischen Arbeiten des Landmessers und Ingenieurs, und es sich im Kap. XII doch nur um gröbere Messungen handelt, die mit diesen Arbeiten nichts zu tun haben, und die zudem ganz in derselben Art behandelt sind, wie man sie im elementaren Teil anderer Lehrbücher der sphärischen Astronomie ebenfalls findet, ohne irgend eine persönliche Note. Dem Anfänger zu empfehlen, mittlere Fehler aus zwei oder drei Messungen (*S. 335*, *329* u. s. f.) abzuleiten, scheint mir besonders bedenklich, nachdem er durch andere Stellen des Buchs veranlaßt wird, die m. F. als Fehler-*Grenzen* aufzufassen (*S. 211* „auf etwa $\pm\,{}^1/_{40000}$ der Länge richtig, Mittel aus vier Messungen also auf ${}^1/_{80000}$ d. L. sicher"). Auch halte ich es für zweckmäßig, dem „Anfänger" nur Dinge vorzuführen, die im Bereich seiner Übersicht und der Möglichkeit seiner eigenen Ausführung liegen; Teile der Gotthardtunnel-Triangulation hier so nebenbei einzubeziehen, hält der Ref. nicht für angezeigt. Auch hier kann auf Einzelheiten nicht eingegangen werden. Erwähnt sei nur, daß die schon oben angeführte graphische Tafel der barometrischen Höhenstufen, nur in *b* von 660 bis 600 *mm* erweitert, abermals als „sehr bequem" ohne Quellenangabe erscheint.

Hammer.

M. von Rohr, Die Brille als optisches Instrument. gr. 8. IX, 172 S. m. 48 Fig. im Text u. 1 Taf. Leipzig, W. Engelmann 1911. 6 M.

Das Kennzeichnende des Buches ist der Versuch, die Brillenoptik auf der Grundannahme des bewegten Auges zu behandeln und damit die Diskussion der Fehler schiefer Büschel auf den Gullstrandschen Satz zu stützen, daß der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen in den Augendrehpunkt zu verlegen ist. Die daraus abgeleitete Theorie, die in der Feststellung der Anforderungen an eine richtig konstruierte Brille ihr Ziel erblickt, ist also ebenso wie die bekannten erfolgreichen Versuche des Verf., die Brillen zu verbessern (s. *diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 314. 1910*), auf die Anregung von opthalmologischer Seite zurückzuführen. Es ist dies bei der engen Verbindung, in der die Brille zum Auge steht, verständlich, und eine zutreffende Theorie der Brille setzt eine solche der optischen Vorgänge beim freien Sehen voraus.

Zunächst wird die Abbildung nur für eine axiale Blickrichtung untersucht, und zwar nur für achsensymmetrische Linsen. Die Behandlung der korrigierenden Brillen erstreckt sich auf die Beziehungen zwischen der Ametropie und ihrem Korrektionswert, die Bildgröße und den Einfluß des Abstandes der Brille vom Auge, wenn nicht, wie zuerst angenommen, das dünne Brillenglas im vorderen Augenbrennpunkt steht. Die Korrektion aphakischer Augen wird berücksichtigt. Es werden dann die verschiedenen Definitionen der Sehschärfe erläutert. Neben der von Donders eingeführten absoluten Sehschärfe, die die Funktionstüchtigkeit der Netzhaut mißt, ist von Gullstrand noch die natürliche Sehschärfe, die die Funktionstüchtigkeit des gerade vorliegenden Auges unabhängig von seinem Akkommodationszustande mißt, und die relative Sehschärfe, die in speziellen Fällen mit der absoluten zusammenfällt, unterschieden worden. Es folgt die Behandlung der Presbyopenbrillen mit dem Spezialfalle der Lupenbrillen, der aus einer positiven und einer negativen Linse zusammengesetzten Fernrohrbrillen für hochgradig kurzsichtige Augen, der Vorhängebrillen und der Bifokalbrillen.

Nachdem so das, was man wohl die Gausssche Abbildung nennt, erledigt ist, geht der Verf. zu der wesentlich Neues bietenden Brillentheorie für das bewegte Auge über. Es wird für das von Astigmatismus freie Auge die Schärfenfläche definiert, darunter die Fernpunkts- und die Nahepunktsfläche, die den Schärfenraum einschließen. Die für solche Augen geeigneten vom Astigmatismus schiefer Büschel befreiten Brillen werden als punktuell abbildende bezeichnet, strenger noch mit dem Zusatz für den Neigungswinkel w, für den der Astigmatismus Null wird. Neben dem Astigmatismus werden die Bildkrümmung und die Verzeichnung behandelt, es wird auf den Zusammenhang der Verzeichnung eines außeraxialen Flächenelements mit der Verschiedenheit der Brennweiten des sagittalen und tangentialen Büschels hingewiesen. Am einfachsten liegen die Verhältnisse bei den Lupenbrillen; das Problem für den rechnenden Optiker ist dasselbe wie bei der photographischen Landschaftslinse mit Vorderblende. Im allgemeinen ist eine doppelte Lösung vorhanden, die Ostwaltsche hat den Vorteil geringerer Krümmung, die nach Wollaston benannte ist gegen Änderung des Objektabstandes unempfindlicher, hat geringere Verzeichnung und größere Zonenfreiheit des Astigmatismus. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Presbyopenbrillen und den korrigierenden Brillen. Es kommen dann besondere Brillenformen an die Reihe, außer den Fernrohr- und den Bifokalbrillen noch die Gullstrandschen Starbrillen mit einer asphärischen achsensymmetrischen Umdrehungsfläche, bei denen man entweder bei vorgeschriebener Linsenform (mit geringer Durchbiegung) den Astigmatismus schiefer Büschel heben kann oder unter Hinzunahme der Durchbiegung auch die Verzeichnung. Bei den Schielbrillen wird gezeigt, daß man eine punktuell abbildende Form erhalten kann, wenn man ein exzentrisches Stück der durch Zonenfreiheit ausgezeichneten Wollastonschen Form der korrigierenden Brille verwendet.

Die Behandlung der astigmatischen Brillen wird auf die Bewegung der Blicklinie in den beiden Hauptschnitten des in der Primärstellung ruhenden Auges beschränkt. Der Verf. kommt so zu der Forderung, daß das astigmatische Brillenglas so durchgebogen werden

muß, daß der Astigmatismus bei beliebigen Exkursionen der Blicklinie in den erwähnten beiden Ebenen (Symmetrieebenen des Glases) konstant bleibt. Es wird an zwei Beispielen gezeigt, daß sich eine recht vollkommene Korrektion erzielen läßt. Bei stärkeren positiven Linsen mit einer etwa den Wert von 7 Dioptrien übersteigenden Brechkraft kann auch hier der rechnende Optiker genötigt werden, Gullstrandsche Linsen, die in diesem Falle asphärotorisch sind, zu verwenden.

Was die Farbenfehler der Brille betrifft, so ist bei der mangelhaften Achromasie des Auges nur die Achromasie der Hauptstrahlenneigung von Bedeutung, doch steht der Einführung so konstruierter Brillen das große Gewicht im Wege.

Für ein ideales, d. h. punktuell und verzeichnungsfrei abbildendes Brillenglas wird dann die Porrhallaxie benannte Änderung der Perspektive erläutert, und für ebensolche Gläser wird die Brille als binokulares Instrument behandelt, wobei landläufigen Irrtümern entgegengetreten wird.

Wer den Entwicklungsgang des Verf. auf optischem Gebiete verfolgt hat, wird auf einen mit ebensoviel Fleiß wie Gründlichkeit zusammengestellten historischen Teil gefaßt sein. Für die Anfänge der Geschichte der Brille wird auf das Werk von E. Bock verwiesen, der Verf. beschränkt sich auf das, was an Fortschritten in der Erkenntnis und an Verbesserungen in der Konstruktion seit dem 18. Jahrhundert zu verzeichnen ist. Aus dem reichen Inhalt sei hier nur erwähnt, daß in dem Zeitraum bis zum ersten Drittel des 19. Jahrhunderts durch die Erfindungsgabe nicht von Optikern, sondern von Wissenschaftlern, insbesondere von Ärzten, die wichtigsten neuen Brillenformen gefunden wurden, so die periskopischen Gläser, die multi- und bifokalen Gläser; ebenso erkannte man die Ursache des Astigmatismus und die Mittel seiner Korrektion.

Ein systematischer Teil, ein Literaturverzeichnis und ein Register bilden eine wertvolle Ergänzung des Buchs, das den Anstoß dazu geben möge, daß die deutschen Optiker sich mit dem bisher von ihnen vernachlässigten Zweige der Brillenoptik mehr befassen.

A. K.

Neu erschienene Bücher.

P. Painlevé u. E. Borel, Theorie und Praxis der Flugtechnik. Übersetzt nebst einem Anhang von A. Schöning. 8°. 251 S. m. 76 Fig. Berlin 1911. Geb. in Leinw. 7 M.

E. Rutherford, Radiumnormalmaße u. deren Verwendung bei radioaktiven Messungen. Deutsch v. Dr. B. Finkelstein. 8°. 45 S. m. 3 Abbildgn. Leipzig, Akadem. Verlagsgesellschaft 1911. 1,50 M.; geb. 2 M.

H. Vieweger, Aufgaben u. Lösungen aus der Gleich- u. Wechselstromtechnik. Ein Übungsbuch f. den Unterricht an techn. Hoch- u. Fachschulen, sowie zum Selbststudium. 3., verb. Aufl. 8°. VII, 282 S. m. 174 Fig. u. 2 Taf. Berlin, J. Springer 1911. Geb. in Leinw. 7 M.

Monographien über angewandte Elektrochemie. gr. 8°. Halle, W. Knapp.

Bd. 37 u. 40: M. Schlötter, Galvanostegie. Tl. 1: Über elektrolytische Metallniederschläge. 471 S. m. 22 Abbildgn. 1910. 12 M.; Tl. II: Über besondere Einrichtungen zum Plattieren. X, 191 S. m. 157 Abbildgn. 1911. 9,60 M.

Gmelin u. Krauts Handbuch der anorganischen Chemie. Unter Mitwirkg. hervorrag. Fachgenossen hrsg. v. Prof. C. Friedheim u. Dr. F. Peters. 7., gänzlich umgearb. Aufl. gr. 8°. Heidelberg, Carl Winter.

I. Bd., 3. Abtlg.: Phosphor, Bor, Kohlenstoff, bearb. v. Prof. Dr. A. Gutbier; die kristallograph. Angaben v. Assist. Dr. H. Steinmetz. XXXIX, 907 S. 1911. 35 M.; geb. in Halbfrz. 38 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.



Prof. Dr. Lindeck.



Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **F. R. Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Raps**, geschäftsführendes Mitglied, Dr. **H. Krüss**, Prof. Dr. **R. Straubel**.

Redaktion: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **November 1911.** Elftes Heft.

Stephan August Lindeck.

Von

E. Orlich in Charlottenburg.

Am 21. Oktober 1911 verschied nach kurzer Krankheit im besten Mannesalter der Redakteur dieser Zeitschrift, Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Stephan Lindeck.

Er war am 16. Oktober 1864 zu Alsfeld im Großherzogtum Hessen als Sohn des Geh. Finanzrats und Direktors der Hauptstaatskasse zu Darmstadt Lindeck geboren. Die Kinderjahre, in denen er häufig den Vater auf seinen zahlreichen Reisen in seinem Heimatlande begleiten durfte, sind, wie er selbst gelegentlich erzählt hat, überaus glücklich gewesen; in einem harmonischen Familienleben wuchs er auf. So ist es nur natürlich, daß er seiner Familie und namentlich seiner hochbetagten Mutter bis zu seinem Tode hingebende Liebe und Anhänglichkeit bewahrt hat. Von 1875 bis 1882 besuchte er das Ludwig Georg-Gymnasium in Darmstadt; er hat später oft des ausgezeichneten Unterrichtes gedacht, den er dort in Mathematik und Physik durch Hrn. Prof. Münch erhalten hat, und der ihn mitbestimmte, nach bestandener Reifeprüfung sich dem Studium dieser Wissenschaften zu widmen. Nach Ableistung seiner Militärpflicht und zweisemestrigem Studium an der Technischen Hochschule in Darmstadt begab er sich nach Straßburg, wo in diesen Jahren Kundt einen großen Kreis von Schülern an sich gezogen hatte. Für Lindeck wurde der Eintritt in das Kundtsche Laboratorium bestimmend für seinen ferneren Lebensweg.

Unmittelbar nach Beendigung seiner Studien trat er auf Kundts Empfehlung hin am 1. November 1887 in die neu gegründete Physikalisch-Technische Reichsanstalt ein. Dort widmete er sich alsbald dem Arbeitsgebiet, dem er bis zum Lebensende treu geblieben ist: der elektrischen Widerstandsmessung. Schon verhältnismäßig früh wurde er an die Spitze des Schwachstrom-Laboratoriums gestellt, das sich mit diesen Messungen zu befassen hat. Die Aufgaben, die hier zu lösen waren, waren teils wissenschaftlicher, teils organisatorischer Art; es gelang ihm, die eine wie die andere Seite in ausgezeichneter Weise zu lösen.

Die Hauptaufgabe wissenschaftlicher Art bestand zunächst darin, brauchbare Drahtnormale für Widerstände zu schaffen. Dies geschah in einer Reihe von Arbeiten, die er z. T. gemeinsam mit Hrn. Feußner ausgeführt hat. Es wurden die jetzt so wohlbekannten Einflüsse untersucht, welche zeitliche Veränderungen der Widerstände hervorrufen, und in der „künstlichen Alterung" ein wichtiges Verfahren für die Herstellung konstanter Widerstände gefunden. Grundlegend waren die systematischen Untersuchungen über die Nickel- und Manganlegierungen, auf die man durch ein



Prof. Dr. Lindeck.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. F. R. Helmert, Vorsitzender, Prof. Dr. A. Raps, geschäftsführendes Mitglied,
Dr. H. Krüss, Prof. Dr. R. Straubel.

Redaktion: Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. November 1911. Elftes Heft.

Stephan August Lindeck.

Von
E. Orlich in Charlottenburg.

Am 21. Oktober 1911 verschied nach kurzer Krankheit im besten Mannesalter der Redakteur dieser Zeitschrift, Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Stephan Lindeck.

Er war am 16. Oktober 1864 zu Alsfeld im Großherzogtum Hessen als Sohn des Geh. Finanzrats und Direktors der Hauptstaatskasse zu Darmstadt Lindeck geboren. Die Kinderjahre, in denen er häufig den Vater auf seinen zahlreichen Reisen in seinem Heimatlande begleiten durfte, sind, wie er selbst gelegentlich erzählt hat, überaus glücklich gewesen; in einem harmonischen Familienleben wuchs er auf. So ist es nur natürlich, daß er seiner Familie und namentlich seiner hochbetagten Mutter bis zu seinem Tode hingebende Liebe und Anhänglichkeit bewahrt hat. Von 1875 bis 1882 besuchte er das Ludwig Georg-Gymnasium in Darmstadt; er hat später oft des ausgezeichneten Unterrichtes gedacht, den er dort in Mathematik und Physik durch Hrn. Prof. Münch erhalten hat, und der ihn mitbestimmte, nach bestandener Reifeprüfung sich dem Studium dieser Wissenschaften zu widmen. Nach Ableistung seiner Militärpflicht und zweisemestrigem Studium an der Technischen Hochschule in Darmstadt begab er sich nach Straßburg, wo in diesen Jahren Kundt einen großen Kreis von Schülern an sich gezogen hatte. Für Lindeck wurde der Eintritt in das Kundtsche Laboratorium bestimmend für seinen ferneren Lebensweg.

Unmittelbar nach Beendigung seiner Studien trat er auf Kundts Empfehlung hin am 1. November 1887 in die neu gegründete Physikalisch-Technische Reichsanstalt ein. Dort widmete er sich alsbald dem Arbeitsgebiet, dem er bis zum Lebensende treu geblieben ist: der elektrischen Widerstandsmessung. Schon verhältnismäßig früh wurde er an die Spitze des Schwachstrom-Laboratoriums gestellt, das sich mit diesen Messungen zu befassen hat. Die Aufgaben, die hier zu lösen waren, waren teils wissenschaftlicher, teils organisatorischer Art; es gelang ihm, die eine wie die andere Seite in ausgezeichneter Weise zu lösen.

Die Hauptaufgabe wissenschaftlicher Art bestand zunächst darin, brauchbare Drahtnormale für Widerstände zu schaffen. Dies geschah in einer Reihe von Arbeiten, die er z. T. gemeinsam mit Hrn. Feußner ausgeführt hat. Es wurden die jetzt so wohlbekannten Einflüsse untersucht, welche zeitliche Veränderungen der Widerstände hervorrufen, und in der „künstlichen Alterung“ ein wichtiges Verfahren für die Herstellung konstanter Widerstände gefunden. Grundlegend waren die systematischen Untersuchungen über die Nickel- und Manganlegierungen, auf die man durch ein



Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. F. R. **Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. A. **Raps**, geschäftsführendes Mitglied,
Dr. H. **Krüss**, Prof. Dr. R. **Straubel**.

Redaktion: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **November 1911.** Elftes Heft.

Stephan August Lindeck.

Von
E. Orlich in Charlottenburg.

Am 21. Oktober 1911 verschied nach kurzer Krankheit im besten Mannesalter der Redakteur dieser Zeitschrift, Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Stephan Lindeck.

Er war am 16. Oktober 1864 zu Alsfeld im Großherzogtum Hessen als Sohn des Geh. Finanzrats und Direktors der Hauptstaatskasse zu Darmstadt Lindeck geboren. Die Kinderjahre, in denen er häufig den Vater auf seinen zahlreichen Reisen in seinem Heimatlande begleiten durfte, sind, wie er selbst gelegentlich erzählt hat, überaus glücklich gewesen; in einem harmonischen Familienleben wuchs er auf. So ist es nur natürlich, daß er seiner Familie und namentlich seiner hochbetagten Mutter bis zu seinem Tode hingebende Liebe und Anhänglichkeit bewahrt hat. Von 1875 bis 1882 besuchte er das Ludwig Georg-Gymnasium in Darmstadt; er hat später oft des ausgezeichneten Unterrichtes gedacht, den er dort in Mathematik und Physik durch Hrn. Prof. Münch erhalten hat, und der ihn mitbestimmte, nach bestandener Reifeprüfung sich dem Studium dieser Wissenschaften zu widmen. Nach Ableistung seiner Militärpflicht und zweisemestrigem Studium an der Technischen Hochschule in Darmstadt begab er sich nach Straßburg, wo in diesen Jahren Kundt einen großen Kreis von Schülern an sich gezogen hatte. Für Lindeck wurde der Eintritt in das Kundtsche Laboratorium bestimmend für seinen ferneren Lebensweg.

Unmittelbar nach Beendigung seiner Studien trat er auf Kundts Empfehlung hin am 1. November 1887 in die neu gegründete Physikalisch-Technische Reichsanstalt ein. Dort widmete er sich alsbald dem Arbeitsgebiet, dem er bis zum Lebensende treu geblieben ist: der elektrischen Widerstandsmessung. Schon verhältnismäßig früh wurde er an die Spitze des Schwachstrom-Laboratoriums gestellt, das sich mit diesen Messungen zu befassen hat. Die Aufgaben, die hier zu lösen waren, waren teils wissenschaftlicher, teils organisatorischer Art; es gelang ihm, die eine wie die andere Seite in ausgezeichneter Weise zu lösen.

Die Hauptaufgabe wissenschaftlicher Art bestand zunächst darin, brauchbare Drahtnormale für Widerstände zu schaffen. Dies geschah in einer Reihe von Arbeiten, die er z. T. gemeinsam mit Hrn. Feußner ausgeführt hat. Es wurden die jetzt so wohlbekannten Einflüsse untersucht, welche zeitliche Veränderungen der Widerstände hervorrufen, und in der „künstlichen Alterung" ein wichtiges Verfahren für die Herstellung konstanter Widerstände gefunden. Grundlegend waren die systematischen Untersuchungen über die Nickel- und Manganlegierungen, auf die man durch ein

Patent Westons aufmerksam geworden war. Das Resultat dieser Arbeiten war die Auffindung des Manganins, das wegen seines fast verschwindend kleinen Temperaturkoeffizienten und seiner kleinen Thermokraft gegen Kupfer zum allgemein angenommenen Standard-Material für genaue Widerstände geworden ist. Um festzustellen, ob das neu gefundene Material sich zeitlich ändert, hat Lindeck an einer großen Zahl von Widerständen in regelmäßigen Intervallen lange Jahre hindurch bis in die Jetztzeit Messungen vorgenommen. Durch die z. T. veröffentlichten Resultate wurde der Beweis erbracht, daß die Manganin-Widerstände eine überaus große Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit besitzen, bei weitem größer, als man anfangs zu hoffen gewagt hatte.

Daneben gingen fortdauernd Arbeiten, die auf die Verbesserung des Methodischen gerichtet waren. Lindeck war ein Präzisionsphysiker im besten Sinne des Wortes; unermüdlich und mit großer Zähigkeit war er bestrebt, auch die unscheinbarsten Unstimmigkeiten aus seinen Beobachtungen zu beseitigen. Es ist nicht zum geringsten Teil sein Verdienst, daß man sich heutzutage auf die Konstanz der Widerstandseinheiten als etwas Selbstverständliches verläßt, wie man es früher nur bei den Grundeinheiten der Länge, der Masse und der Zeit gewohnt war. Ein gleiches Verdienst ist ihm betreffs des zweiten Fundamentes elektrischer Messungen, der Normalelemente, zuzuerkennen; hiermit hat er sich freilich erst später, nachdem die grundlegenden Arbeiten bereits von anderer Seite erledigt waren, beschäftigt.

Die organisatorische Tätigkeit, für die Lindeck eine hervorragende Begabung besaß, erstreckte sich einerseits auf die Prüftätigkeit, andererseits auf die Internationalisierung der Einheiten.

Die Vorschriften für die Prüfung und Beglaubigung von Widerständen, die von ihm herrühren, haben den beabsichtigten Zweck, eine Verbesserung der Konstruktion und Fabrikation von Widerständen herbeizuführen, in vollem Umfang erreicht. Seine Mitwirkung bei der Internationalisierung der elektrischen Einheiten begann bereits im Jahre 1892, wo er als Begleiter von v. Helmholtz nach England reiste, um an den vorbereitenden Schritten für die internationalen Definitionen von elektrischen Einheiten teilzunehmen. Zwei Jahre darnach sehen wir ihn auf dem internationalen Elektrikerkongreß in Chicago, wo endgültig die Grundlagen für die spätere Gesetzgebung betr. die elektrischen Maßeinheiten in den einzelnen Staaten geschaffen wurden. Neben seinem Geschick, bei derartigen Verhandlungen seine Meinung zur Geltung zu bringen, kam ihm hier und bei späterer Gelegenheit seine Gewandtheit, sich der englischen und französischen Sprache zu bedienen, sehr zustatten. Nachdem in England und Amerika ebenfalls Staatslaboratorien gegründet waren, entstand die Aufgabe, die noch bestehenden Unterschiede in den elektrischen Einheiten zu beseitigen. Auch an dieser Arbeit, die durch die internationale Konferenz über elektrische Einheiten und Normale zu London im Jahre 1908 eingeleitet wurde, hat Lindeck erfolgreich teilgenommen.

Eine für die deutschen Fabrikanten von wissenschaftlichen Instrumenten besonders segensreiche Tätigkeit hat er durch seine Arbeiten für und auf Weltausstellungen entwickelt. Bereits 1894 hatte er in Chicago Gelegenheit, eine große Ausstellung zu studieren und mit den Juroren in Berührung zu kommen. 1900 treffen wir ihn auf der Weltausstellung in Paris als Ersatzjuror für „*instruments de précision*". 1904 folgte die Weltausstellung in St. Louis; für diese war ihm die Organisation der Kollektivausstellung „Wissenschaftliche Instrumente" der Deutschen Unterrichts-Aus stellnug übertragen. Er löste seine Aufgabe in der Weise, daß er aus den Fabrikaten

aller in Betracht kommenden Firmen und den Konstruktionen von Staatsinstituten eine sachlich geordnete Sammlung zusammenstellte, welche einen vorzüglichen Überblick über die Fortschritte des Meßapparatebaues und den derzeitigen Stand der Technik gab. Mit dieser Ausstellung, welche in der Fachwelt einen ungewöhnlichen Erfolg errang, hat Lindeck der deutschen Präzisionstechnik einen großen Dienst erwiesen; der Erfolg fand seinen sichtbaren Ausdruck in einer besonders großen Zahl von Auszeichnungen durch die Jury, der Lindeck ebenfalls angehörte.

Der von ihm bearbeitete Ausstellungskatalog und sein Bericht in der amtlichen Denkschrift des Reichskommissars werden für immer Zeugnis für diese Arbeit ablegen und einen über die Ausstellung hinaus dauernden Wert behalten, insofern sie ein gutes, zutreffendes Bild des Baues wissenschaftlicher Meßapparate in Deutschland zur Zeit der Weltausstellung geben.

Das Interesse, das Lindeck den deutschen Mechanikern entgegenbrachte, und das sich durch seine Arbeiten für und auf den Weltausstellungen bekundete, hat er als Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik betätigt. Als solches hat er mannigfach Gelegenheit gehabt, Einfluß auf die Fortschritte der Präzisionsmechanik auszuüben.

Die Redaktion dieser Zeitschrift hat Lindeck im Jahre 1895 übernommen und sie bis zu seinem Tode fortgeführt. Er hat dieses Amtes mit wahrer Hingebung gewaltet; Lesern und namentlich Mitarbeitern ist wohlbekannt, welche außerordentliche Sorgfalt er auf die Fertigstellung der einzelnen Hefte verwandte, wie genau er alle Beiträge nach Inhalt und Form prüfte, und wie er Wert darauf legte, daß nur gute und zweckmäßig ausgewählte Figuren gebracht wurden. Mustergültig wurde unter ihm die Ausgestaltung der Referate. Er hielt darauf, die Referate so ausführlich zu geben, daß der Leser einen guten Überblick über den Inhalt der Arbeiten bekommen konnte; auch manche Figuren sind dafür besonders hergestellt worden, wenn ihm die der Originalarbeiten ungenügend erschienen.

Der Erfolg ist nicht ausgeblieben; die Zeitschrift hat unter Lindecks Leitung einen kräftigen Aufschwung genommen, der um so wohlverdienter ist, als er den denkbar besten und vornehmsten Mitteln zu danken ist.

So bedeutet das frühzeitige Hinscheiden Lindecks nicht bloß für die Wissenschaft und die Reichsanstalt, sondern auch für diese Zeitschrift einen schweren Verlust.

Aber nicht berufliche Leistungen allein bestimmen den Wert eines Menschen; auch das Bild dieses Mannes wird erst vollständig, wenn man seines lebhaften Interesses für Literatur und Kunst gedenkt. Die Natur hatte Lindeck ein feines Verständnis für die Musik geschenkt, und so fühlte er sich besonders wohl in einem aus Künstlern und kunstliebenden Laien zusammengesetzten Freundeskreis, dem er große Anhänglichkeit und Treue erwiesen hat. Seine Freunde sind ganz besonders schwer durch sein jähes Hinscheiden getroffen und werden ihm stets ein liebevolles Andenken bewahren.

Die Untersuchung von Spannungstransformatoren mittels des Quadrantelektrometers.

Von
H. Schultze.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

1. Einleitung.

Zur Messung des Übersetzungsverhältnisses und der Phasenabweichung von Spannungstransformatoren für Meßzwecke ist in den letzten Jahren in der Reichsanstalt eine Differentialschaltung verwandt worden, die einer vom *Bureau of Standards*[1]) veröffentlichten Schaltung ähnlich ist. Während jedoch dort zur Messung zwei Dynamometer benutzt werden, wird hier ein Quadrantelektrometer als Meßinstrument verwandt. Im folgenden ist diese Methode der Reichsanstalt beschrieben und in bezug auf die möglichen Fehlerquellen diskutiert.

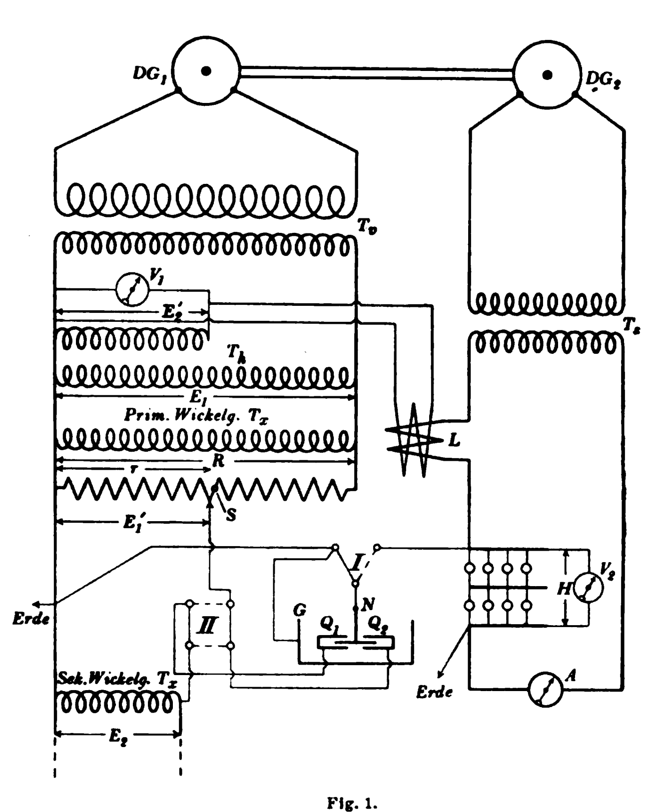


Fig. 1.

Für ihre Anwendung ist erforderlich, daß man Widerstände bestimmter Konstruktion[2]) verwendet, die es erlauben, eine hohe Wechselspannung so wie bei Gleichspannungen üblich zu unterteilen, und zwar derart, daß die Teilspannung mit der Gesamtspannung genau in Phase ist. Wie und wie weit das zu erreichen ist, soll demnächst in einer besonderen Arbeit besprochen werden.

2. Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses.

a) Schaltung und Elektrometerformeln.

Der Schalter I in Fig. 1 wird nach links gelegt (ausgezogene Lage). Es bleibt dann alles, was in der Figur rechts von Schalter I liegt, für die Messung außer Betracht. Die primäre Spannung E_1 für den zu untersuchenden Meßtransformator T_x liefert der Hochspannungstransformator T_v in Verbindung mit der einen Maschine DG_1 eines Doppelgenerators. Zur Einstellung der richtigen Primärspannung E_1 dient ein Hilfsmeßtransformator T_h, dessen sekundäre Wickelung durch ein Voltmeter V_1 geschlossen ist. T_h habe nahezu dieselben Konstanten wie T_x. Primäre und sekundäre

[1]) P. G. Agnew und T. T. Fitsch, *Bull. of the Bureau of Standards* **6.** *S. 281. 1909.*

[2]) Vgl. die vorläufigen Mitteilungen von E. Orlich und H. Schultze in den Tätigkeitsberichten der Reichsanstalt, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 145. 1909;* **30.** *S. 153. 1910.*

Wickelung der Meßtransformatoren sind einseitig so geerdet, daß die Phasenabweichung zwischen primärer Klemmenspannung E_1 und sekundärer E_2 nahezu Null ist. Parallel zur primären Wickelung von T_x ist ein Spannungsteiler (Gesamtwiderstand R) geschaltet, der die Hochspannung in der in der Einleitung erwähnten Weise zu unterteilen gestattet. Die sekundäre Wickelung von T_x kann offen bleiben oder durch einen beliebigen Belastungswiderstand geschlossen werden. Verzichtet man auf die Untersuchung von T_x bei offener Sekundärwickelung, so wird der Hilfstransformator T_h überflüssig. Man schließt dann das Voltmeter V_1 an die Sekundärklemmen von T_x und kann das Übersetzungsverhältnis für Belastungswiderstände messen, die kleiner oder gleich dem Widerstand von V_1 sind.

Das Meßverfahren besteht nun darin, auf R einen Abzweigwiderstand r so abzugrenzen, daß der Effektivwert der Teilspannung E_1' gleich dem Effektivwert der Sekundärspannung E_2 wird. Dann ist das Übersetzungsverhältnis des Transformators T_x

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R}{r}.$$

Als Meßinstrument wird das Quadrantelektrometer benutzt. Die Nadel N und das Gehäuse G sind geerdet. Der freie Pol der Sekundärwickelung kann mittels des Umschalters U an das eine Quadrantenpaar Q_1 bezw. das andere Q_2 gelegt werden, während gleichzeitig die Abzweigstelle auf R mit Q_2 bezw. Q_1 verbunden wird.

Die allgemeine Elektrometergleichung für Wechselspannungen lautet[1])

$$Dz = a_0 M(v_0^2) + a_1 M(v_1^2) + a_2 M(v_2^2) + b_1 M(v_0 v_1) + b_2 M(v_0 v_2) + b_0 M(v_1 v_2), \quad 1)$$

wo

$$D = 1 + \mathfrak{A} M[(v_0 - v_1)(v_0 - v_2)] + \mathfrak{B} M[(v_1 - v_2)^2]. \quad 2)$$

Hierin bedeutet

v_0 den Augenblickswert der Klemmenspannung zwischen N und G,

v_1 bezw. v_2 den Augenblickswert der Klemmenspannung zwischen Q_1 und G bezw. Q_2 und G,

z die Ablenkung der Nadel in Skalenteilen,

$M(v_0^2)$, $M(v_1^2)$ ... die zeitlichen Mittelwerte von v_0, v_1 ... über eine Periodendauer τ,

sodaß z. B.

$$M(v_0^2) = \frac{1}{\tau}\int_0^\tau v_0^2\,dt = V_0^2,$$

$$M(v_0 v_1) = \frac{1}{\tau}\int_0^\tau v_0 v_1\,dt = V_0 V_1 \cos\varphi,$$

wo φ die Phasenverschiebung zwischen V_0 und V_1 bedeutet, und wo V_0 und V_1 Effektivwerte sind.

Betreffs der durch Ablenkungsbeobachtungen bei Gleichstrom bestimmbaren Elektrometerkonstanten a, b genügen hier die Angaben, daß mit großer Annäherung die Bedingung gilt

$$a_1 - a_2 = -b_1 = b_2,\text{[2]})$$

und daß $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$ und $4\mathfrak{B} - \mathfrak{A}$[3]) durch bestimmte Justierungen jedes einzeln gleich Null gemacht werden kann, daß aber im allgemeinen nicht alle drei gleichzeitig Null werden[4]).

[1]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 35. 1909.*
[2]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* **23.** *S. 108. 1903.*
[3]) Diese Kombination tritt im folgenden auf.
[4]) H. Schultze, *diese Zeitschr.* **26.** *S. 147. 1906;* **28.** *S. 144. 1908.*

Setzt man für die beiden Stellungen des Umschalters *II* statt der v die betreffenden Augenblickswerte der Wechselspannungen aus Fig. 1 ein, so erhält man folgendes Schema:

Stellung des Umschalters *II*	$a_0 M(v_0^2)$ +	$a_1 M(v_1^2)$ +	$a_2 M(v_2^2)$ +	$b_1 M(v_0 v_1)$ +	$b_2 M(v_0 v_2)$ +	$b_0 M(v_1 v_2)$
ǀǀ	0	e_2^2	$e_1'^2$	0	0	$e_2 e_1'$
=	0	$e_1'^2$	e_2^2	0	0	$e_2 e_1'$

Stellung des Umschalters *II*	1 +	$\mathfrak{A} M[(v_0 - v_1)(v_0 - v_2)]$ +	$\mathfrak{B} M[(v_1 - v_2)^2]$	Ablesung
ǀǀ	1	$e_2 e_1'$	$(e_2 - e_1')^2$	z_1
=	1	$e_2 e_1'$	$(e_2 - e_1')^2$	z_2

Bildet man $z_1 - z_2 = \alpha$, so erhält man für die Augenblickswerte die Gleichung

$$(a_1 - a_2) M(e_2^2 - e_1'^2) = \left\{1 + \mathfrak{A} M(e_2 e_1') + \mathfrak{B} M[(e_2 - e_1')^2]\right\} \alpha$$

und für die Effektivwerte

$$E_2^2 - E_1'^2 = \frac{1 + \mathfrak{A} E_2 E_1' \cos \delta' + \mathfrak{B}(E_2^2 + E_1'^2 - 2 E_2 E_1' \cos \delta')}{a_1 - a_2} \alpha = \frac{D}{a_1 - a_2} \alpha. \qquad 3)$$

Für $\alpha = 0$ ist also genau $E_2 = E_1'$, und zwar unabhängig davon, welche Phasenabweichung δ' die Spannungen E_2 und E_1' voneinander haben. Die Schaltung gestattet also, E_1' gleich E_2 zu machen, sowohl wenn der Meßtransformator so geerdet ist, daß E_1' und E_2 nahe den Winkel 0 bilden, als auch wenn er so geerdet ist, daß E_1' und E_2 nahe den Winkel 180° bilden.

Dagegen ist der Winkel δ' von Einfluß auf D und damit auf die Empfindlichkeit $\frac{a_1 - a_2}{D}$ des Elektrometers. Für $\alpha = 0$, d. h. für $E_1' = E_2$, wird nämlich

$$\frac{D}{a_1 - a_2} = \frac{1 + \mathfrak{A} E_2^2 \cos \delta' + 2 \mathfrak{B} E_2^2 (1 - \cos \delta')}{a_1 - a_2}.$$

Ist δ' sehr nahe 0 (bei guten Spannungswandlern ist $\delta' < 30$ Minuten), so wird $\cos \delta' = 1$ und

$$\frac{D}{a_1 - a_2} = \frac{1 + \mathfrak{A} E_2^2}{a_1 - a_2}. \qquad 4)$$

Ist δ' nahe 180°, so wird $\cos \delta' = -1$ und

$$\frac{D}{a_1 - a_2} = \frac{1 + (4\mathfrak{B} - \mathfrak{A}) E_2^2}{a_1 - a_2}. \qquad 5)$$

Die Empfindlichkeiten 4) und 5) können sehr verschieden voneinander sein[1]). Man wird übrigens bei praktischen Messungen stets, wie bei der Beschreibung von Fig. 1 angenommen ist, den Meßtransformator so erden, daß δ' nahe 0 wird, weil für $\delta' = 180°$ zwischen den beiden Quadrantenpaaren die hohe Spannung $E_1' + E_2$ liegt, die eventuell die Isolation gefährdet.

---

[1]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* **23.** *S. 103, 106. 1903.* Vgl. auch die Bemerkungen über $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$ und $4\mathfrak{B} - \mathfrak{A}$ auf *S. 333* und das Beispiel auf *S. 345.*

Die Empfindlichkeit der Methode ist sehr hoch, selbst wenn man ein verhältnismäßig unempfindliches Quadrantelektrometer benutzt, im vorliegenden Falle ein **Hallwachs**sches Quadrantelektrometer mit der Konstanten

$$\frac{D}{a_1 - a_2} = \frac{1 + \mathfrak{A} E_2^2}{a_1 - a_2} = 0{,}848_1$$

für $E_2 = 150$ Volt.

Schreibt man Gl. 3) in der Form

$$\frac{E_2 - E_1'}{E_2} = \frac{D}{a_1 - a_2} \frac{\alpha}{(E_2 + E_1') E_2} = \sim \frac{D}{a_1 - a_2} \frac{\alpha}{2 E_2^2},$$

so ergibt sich, daß für einen Transformator von der Sekundärspannung $E_2 = 150$ Volt eine Änderung von E_1' um 0,000019 seines Wertes genügt, um α um 1 Skalenteil zu ändern. Die Methode gestattet also in diesem Falle, E_1' auf rund 4 Milliontel seines Betrages E_2 gleichzumachen (s. das Beispiel auf *S. 343 u. folg.*).

b) Einfluß der Kapazität des Elektrometers auf das Übersetzungsverhältnis.

Die vorstehenden Elektrometergleichungen erfordern eine Ergänzung wegen der Wirkung der Kapazität der Elektrometerteile.

Im folgenden bedeuten v_0, v_1, v_2 die Augenblickswerte der Spannungen von N, Q_1, Q_2 gegen G; q_0, q_1, q_2 die zugehörigen Ladungen auf N, Q_1, Q_2; a, b, c, d Teilkapazitäten, und zwar

a zwischen N und Q_1 bezw. Q_2,
b zwischen N und G,
c zwischen Q_1 bezw. Q_2 und G,
d zwischen Q_1 und Q_2.

Dann kann man mit genügender Annäherung setzen[1])

$$\begin{aligned} q_0 &= (2a + b) v_0 - a(v_1 + v_2) \\ q_1 &= (a + c + d) v_1 - a v_0 - d v_2 \\ q_2 &= (a + c + d) v_2 - a v_0 - d v_1. \end{aligned}$$

Das im Beispiel *S. 343* benutzte **Hallwachs**sche Elektrometer hat nach Messungen nach der **Maxwell-Thomson**schen Methode[2]) folgende Teilkapazitäten:

$$a = 9 \cdot 10^{-12} \text{ Farad} \qquad b = 89 \cdot 10^{-12} \text{ Farad}$$
$$c = 65 \cdot 10^{-12} \;\; " \qquad d = 40 \cdot 10^{-12} \;\; " \;.$$

Dabei sind sämtliche in Betracht kommenden Zuleitungen, dünne Kupferdrähte in Abständen von mindestens mehreren Zentimeter voneinander, mitgemessen.

Wir beschränken uns auf den Fall, daß E_1 und E_2 sehr nahe den Winkel 0 bilden. Ferner werden in erster Näherung sinusförmige Spannungen angenommen. Für die Rechnung ist zu beachten, daß a, b, c, d sehr kleine Größen sind, daß man also quadratische Glieder gegen lineare vernachlässigen kann.

Es kommen zwei mögliche Störungen in Frage.

Erstens verursacht der Kapazitätsstrom i, der von der Nadel durch den Aufhängedraht (Widerstand w) zur Erde fließt, in demselben einen Spannungsabfall iw. Dann ist die Spannung zwischen N und G nicht 0, wie auf *S. 334* angesetzt wurde, sondern

$$s = -iw.$$

[1]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 40. 1909.*

[2]) Die Messungen hat Herr Giebe ausgeführt.

Wir erhalten also statt des Schemas auf *S. 334* das folgende:

Stellung des Umschalters *II*	$a_0 M(v_0^2) +$	$a_1 M(v_1^2) +$	$a_2 M(v_2^2) +$	$b_1 M(v_0 v_1) +$	$b_2 M(v_0 v_2) +$	$b_0 M(v_1 v_2)$	Ablesung
||	s^2	e_2^2	$e_1'^2$	$s\, e_2$	$s\, e_1'$	$e_2\, e_1'$	z_1
=	s^2	$e_1'^2$	e_2^2	$s\, e_1'$	$s\, e_2$	$e_2\, e_1'$	z_2

Hieraus ergibt sich für die Augenblickswerte

$$D\alpha = D(z_1 - z_2) = (a_1 - a_2)\, M(e_2^2 - e_1'^2) + (b_1 - b_2)\, M[s(e_2 - e_1')]$$

oder, da

$$a_1 - a_2 = -b_1 = b_2,$$

$$D\alpha = (a_1 - a_2)\left\{M(e_2^2 - e_1'^2) - 2\, M[s(e_2 - e_1')]\right\}.$$

Unter Anwendung komplexer Größen[1]) wird diese Gleichung

$$D\alpha = (a_1 - a_2)\left\{\mathfrak{E}_2^2 - \mathfrak{E}_1'^2 - 2[\mathfrak{S} \times (\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1')]\right\}. \tag{6}$$

Nun ist

$$s = -i\,w$$

und

$$i = \frac{dq_0}{dt} = \frac{d}{dt}[(2a + b)s - a(e_2 + e_1')]$$

oder, da für $\alpha = 0$ sehr nahe $e_1' = e_2$ wird,

$$i = \frac{d}{dt}[(2a + b)s - 2a\, e_2].$$

Also gilt unter Anwendung komplexer Größen die Gleichung

$$\mathfrak{S} = -j\,\omega\,w\,[(2a + b)\mathfrak{S} - 2a\,\mathfrak{E}_2],$$

woraus

$$\mathfrak{S} = \frac{j\,\omega\,w\,2a\,\mathfrak{E}_2}{1 + j\,\omega\,w(2a + b)}$$

oder, wenn man mit $1 - j\,\omega\,w(2a + b)$ erweitert und nur lineare Glieder der Teilkapazitäten beibehält,

$$\mathfrak{S} = 2\,\omega\,w\,a\,(j\,\mathfrak{E}_2).$$

Es ist zu bilden

$$[\mathfrak{S} \times (\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1')] = (\mathfrak{S} \times \mathfrak{E}_2) - (\mathfrak{S} \times \mathfrak{E}_1') = 2\,\omega\,w\,a\,(j\,\mathfrak{E}_1' \times \mathfrak{E}_2). \tag{7}$$

Die Gleichungen 6) und 7) kombiniert ergeben also, wenn man Effektivwerte einführt, mit δ' die Phasenabweichung zwischen E_1' und E_2 bezeichnet und sich auf sehr kleine Werte von α beschränkt, für die nahe $E_1' = E_2$ ist,

$$\frac{D}{a_1 - a_2}\,\alpha = E_2^2 - E_1'^2 - 4\,\omega\,w\,a\,E_2^2\,\delta'. \tag{8}$$

Der Widerstand des Aufhängedrahts bewirkt demnach, daß für $\alpha = 0$ nicht genau $E_1' = E_2$, sondern daß

$$E_2^2 - E_1'^2 = 4\,\omega\,w\,a\,E_2^2\,\delta'$$

wird oder, mit genügender Annäherung (vgl. *S. 335*),

$$\frac{E_2 - E_1'}{E_2} = 2\,\omega\,w\,a\,\delta'.$$

[1]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 34. 1909;* Derselbe, „Kapazität und Induktivität". Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn 1909. *S. 98 u. folg.*

Es sei nun die Frequenz 50, also $\omega = 100\,\pi$, ferner $w = 1000$ Ohm (für das Hallwachssche Elektrometer ist $w < 100$ Ohm), $\delta' = 30$ Minuten $= \frac{30 \cdot \pi}{10800}$ (vgl. *S. 334*), dann wird (vgl. *S. 335*)

$$\frac{E_2 - E_1'}{E_2} = 5 \cdot 10^{-8}\,.$$

Das ist praktisch Null, denn nach *S. 335* gestattet unsere Methode für $E_2 = 150$ Volt nur, E_1' so nahe E_2 gleichzumachen, daß

$$\frac{E_2 - E_1'}{E_2} = \sim 4 \cdot 10^{-6}$$

wird. Der Widerstand des Aufhängedrahts bedingt also für uns keinen Fehler bei der Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses.

Zweitens bewirkt der von der Abzweigstelle des Unterteilungswiderstandes R auf Q_1 bezw. Q_2 fließende Kapazitätsstrom, daß in $R - r$ und r nicht gleiche, sondern nach Größe und Phase verschiedene Ströme i_1 und i_2 fließen (Fig. 2). Der Kapazitätsstrom gehorcht der Gleichung

$$i_1 - i_2 = \frac{dq_1}{dt} = \frac{d}{dt}\,[(a + c + d)\,e_1' - d\,e_2]$$

Fig. 2.

oder, da für $a = 0$ sehr nahe $e_1' = e_2$ ist,

$$i_1 - i_2 = \frac{d}{dt}\,(a + c)\,e_1' = \frac{d}{dt}\,(a + c)\,i_2\,r\,.$$

Unter Anwendung komplexer Größen wird diese Gleichung

$$\mathfrak{J}_1 - \mathfrak{J}_2 = j\,\omega\,(a + c)\,\mathfrak{J}_2\,r$$

oder

$$\mathfrak{J}_1 = \mathfrak{J}_2\,[1 + j\,\omega\,(a + c)\,r]\,. \tag{9}$$

Für die primäre Gesamtspannung $\mathfrak{E}_1$ gilt die Gleichung

$$\mathfrak{E}_1 = \mathfrak{J}_2\,r + \mathfrak{J}_1\,(R - r)\,. \tag{10}$$

Aus 9) und 10) resultiert

$$\mathfrak{E}_1 = \mathfrak{J}_2\,[R + j\,\omega\,(a + c)\,r\,(R - r)]$$

oder

$$\frac{\mathfrak{E}_1\,r}{R} = \mathfrak{J}_2\,r\left[1 + j\,\omega\,(a + c)\,\frac{r\,(R - r)}{R}\right].$$

Für $a = 0$ (Gl. 3) gibt das Elektrometer

$$\mathfrak{E}_1'^2 = \mathfrak{E}_2^2\,;$$

folglich wird unter Berücksichtigung, daß $\mathfrak{E}_1' = \mathfrak{J}_2\,r$ ist, wenn man Effektivwerte einführt,

$$\frac{E_1^2\,r^2}{R^2} = E_2^2\left\{1 + \left[\omega\,(a + c)\,\frac{r\,(R - r)}{R}\right]^2\right\}$$

oder

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R}{r}\left\{1 + \frac{1}{2}\left[\omega\,(a + c)\,\frac{r\,(R - r)}{R}\right]^2\right\}. \tag{11}$$

In dem Beispiel auf *S. 343* ist rund

$$R = 1{,}6 \cdot 10^6 \text{ Ohm},$$
$$r = 2 \cdot 10^4 \text{ ,, },$$
$$\omega = 100 \cdot \pi\,.$$

Dann wird unter Benutzung der Zahlen auf S. 335

$$\frac{1}{2}\left[\omega\,(a+c)\,\frac{r\,(R-r)}{R}\right]^2 = 1{,}1\cdot 10^{-7}\,.$$

Die Kapazitätskorrektion ist also etwa noch 40-mal kleiner als der auf S. 335 berechnete kleinste Fehler bei der Abgleichung von E_1' und E_2, wenn $E_2 = 150$ Volt angenommen wird; sie ist also ohne jeden Einfluß auf unsere Messung.

3. Bestimmung der Phasenabweichung.

a) Schaltung und Elektrometerformeln.

Der Schalter I in Fig. 1 wird nach rechts gelegt (punktierte Lage). Dadurch wird zwischen N und Erde, also auch zwischen N und G, die Hilfsspannung H (Voltmeter V_2) geschaltet, die von einem nahezu rein ohmischen Lampenwiderstand in der in Fig. 1 angegebenen Anordnung abgezweigt ist. In demselben Stromkreis wie die Lampen liegt das Amperemeter A und die Stromspule des Leistungsmessers L. Die Energie für den Hilfskreis liefert der Transformator T_t in Verbindung mit der zweiten Maschine DG_2 des Doppelgenerators. T_t ist nur wegen der besseren Isolation des Hilfsmeßkreises, der an einem Punkt geerdet werden muß, eingeschaltet. Die Spannungsspule des Leistungsmessers L liegt an den Sekundärklemmen des Hilfstransformators T_h. Verzichtet man auf die Untersuchung von T_x bei offener Sekundärwickelung bezw. sehr geringer Belastung derselben, so wird wiederum der Hilfstransformator T_h überflüssig. Die Spannungsspule von L wird dann gemeinsam mit dem Voltmeter V_1 an die Sekundärklemmen von T_x gelegt. Der drehbare Stator der Maschine DG_2 wird so gestellt, daß L den Ausschlag 0 zeigt; dann steht H nahe senkrecht zu E_2' (Fig. 1) und damit auch zu E_2.

Für diese Schaltung ergibt sich folgendes Schema:

Stellung des Umschalters II	$a_0\,M(v_0^2)$ +	$a_1\,M(v_1^2)$ +	$a_2\,M(v_2^2)$ +	$b_1\,M(v_0 v_1)$ +	$b_2\,M(v_0 v_2)$ +	$b_0\,M(v_1 v_2)$
‖	h^2	e_2^2	$e_1'^2$	he_2	he_1'	$e_2 e_1'$
=	h^2	$e_1'^2$	e_2^2	he_1'	he_2	$e_2 e_1'$

Stellung des Umschalters II	1 +	$\mathfrak{A}\,M[(v_0-v_1)(v_0-v_2)]$ +	$\mathfrak{B}\,M[(v_1-v_2)^2]$	Ablesung
‖	1	$(h-e_2)(h-e_1')$	$(e_2-e_1')^2$	z_1
=	1	$(h-e_2)(h-e_1')$	$(e_2-e_1')^2$	z_2

Bildet man $z_1 - z_2 = \beta$, so erhält man für die Augenblickswerte die Gleichung

$$(a_1-a_2)\,M(e_2^2-e_1'^2)+(b_1-b_2)\,M[(e_2-e_1')\,h] = \left\{1+\mathfrak{A}\,M[(h-e_2)(h-e_1')]+\mathfrak{B}\,M[(e_2-e_1')^2]\right\}\beta$$

oder, da

$$a_1-a_2 = -b_1 = b_2$$

ist,

$$-M(e_2^2-e_1'^2)+2\,M[h\,(e_2-e_1')] = \frac{1+\mathfrak{A}\,M[(h-e_2)(h-e_1')]+\mathfrak{B}\,M[(e_2-e_1')^2]}{b_1}\,\beta = \frac{D}{b_1}\,\beta\,. \qquad 12)$$

Für die Effektivwerte der Spannungen lautet diese Gleichung, wenn δ' die Phasenabweichung zwischen E_1' und E_2 und $\frac{\pi}{2} - \varepsilon$ die Phasenverschiebung von H gegen E_2 bedeutet,

$$-(E_2^2 - E_1'^2) + 2\,H\,E_2 \sin\varepsilon - 2\,H\,E_1' \sin(\varepsilon + \delta')$$
$$= \frac{1 + \mathfrak{A}[H^2 + E_2 E_1' \cos\delta' - H E_2 \sin\varepsilon - H E_1' \sin(\varepsilon + \delta')] + \mathfrak{B}(E_2^2 + E_1'^2 - 2 E_2 E_1' \cos\delta')}{b_1}\,\beta. \qquad 12\mathrm{a})$$

T_x sei wieder so geerdet, daß E_2 und E_1' nahe den Winkel 0 bilden. Dann wird die Gleichung, wenn man berücksichtigt, daß δ' und ε sehr kleine Winkel sind, und wenn man voraussetzt, daß E_1' genau gleich E_2 gemacht ist,

$$-2\,H\,E_2\,\delta' = \frac{1 + \mathfrak{A}(H^2 + E_2^2)}{b_1}\,\beta. \qquad 13)$$

ε fällt in erster Näherung heraus. Daraus folgt, daß eine sehr genaue Einstellung der Phase von H senkrecht zu E_2 nicht nötig ist, und daß ebenso eine geringe Änderung von ε während der Messung, bedingt durch Erschütterungen des drehbaren Stators von DG_2, ohne Einfluß auf δ' ist. Das rechtfertigt die Anwendung des Hilfstransformators T_h und des Doppelgenerators DG_1-DG_2.

Dagegen muß E_1' möglichst genau gleich E_2 gemacht werden, weil sonst das $E_2^2 - E_1'^2$ (Gl. 12a)) ein störendes additives Glied gibt. Doch ist das, wie aus dem Folgenden hervorgeht, leicht mit genügender Genauigkeit erreichbar.

Drückt man δ' in Minuten aus, so wird Gl. 13)

$$\delta'\,(\text{Minuten}) = -\frac{1 + \mathfrak{A}(H^2 + E_2^2)}{b_1}\;\frac{\beta}{2\,H\,E_2}\;\frac{10800}{\pi}.$$

Für das Beispiel auf *S. 343 u. folg.* ist die Elektrometerkonstante

$$\frac{1 + \mathfrak{A}(H^2 + E_2^2)}{b_1} = 0{,}835_6,$$
$$H = 150 \text{ Volt},$$
$$E_2 = 150 \text{ Volt}$$ [1];

dann ergibt sich, daß für $\beta = 1$ Skalenteil

$$\delta' = 0{,}0638 \text{ Minuten}$$

wird. Die Methode erlaubt also, δ' auf rund 0,01 Minuten genau zu bestimmen.

Betrachtet man nun Gl. 3) und 4) auf *S. 334*, woraus

$$E_2^2 - E_1'^2 = \frac{1 + \mathfrak{A}\,E_2^2}{a_1 - a_2}\,\alpha,$$

und nimmt man an, daß

$$-\frac{1 + \mathfrak{A}\,E_2^2}{a_1 - a_2} = \frac{1 + \mathfrak{A}(H^2 + E_2^2)}{b_1}$$

ist (das trifft genau zu, wenn $\mathfrak{A}$ durch Justieren gleich 0 gemacht ist, sonst angenähert), so erhält man, wenn E_1' um so viel von E_2 abweicht, daß sich bei Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses nicht $\alpha = 0$, sondern $\alpha = 1$ Skalenteil ergibt, die Phasenabweichung δ' erst um den additiven Betrag von 0,0638 Minuten falsch. Es ist leicht, den Fehler auf etwa $^1/_5$ dieses Betrages zu beschränken.

[1] Bei Anwendung des Hilfstransformators T_h von bekanntem Übersetzungsverhältnis ist E_2 aus diesem und dem Übersetzungsverhältnis von T_x mit kaum geringerer Genauigkeit bestimmt als das mittels des Voltmeters V_1 gemessene E_2' (s. Fig. 1).

δ' bedeutet, wie hier besonders hervorgehoben sei, die Phasenabweichung zwischen der Teilspannung E_1' und der Sekundärspannung E_2. Die Phasenabweichung δ zwischen der Primärspannung E_1 und zwischen E_2 würde mit derselben Genauigkeit nur bestimmbar sein, wenn es möglich wäre, E_1 so zu unterteilen (vgl. *S. 332*), daß E_1' und E_1 genau gleiche Phase haben, und wenn das Elektrometer und seine Zuleitungen eine zu vernachlässigende Kapazität hätten (vgl. *S. 343* u. *345*).

Der Vollständigkeit halber sei auch der Fall behandelt, daß T_x so geerdet wird, daß E_2 und E_1' nahe den Winkel 180° bilden. Dann ist in Gl. 12a) überall statt δ' der Wert $\pi - \delta'$ einzusetzen, und man erhält unter sonst gleichen Voraussetzungen statt der Gl. 13) die Gleichung

$$2\,H\,E_2\,(2\,\varepsilon - \delta') = \frac{1 + \mathfrak{A}\,H^2 + (4\,\mathfrak{B} - \mathfrak{A})\,E_2^2}{b_1}\,\beta\,. \qquad 14)$$

Hier fällt ε nicht heraus, sondern addiert sich mit dem doppelten Betrage zu δ'. Man erhält also nur, wenn ε sehr genau gleich 0 gemacht wird, richtige Werte für δ'. Das ist aber bei Verwendung eines Doppelgenerators wegen der unvermeidlichen Erschütterungen des drehbaren Stators von DG_2 unmöglich. Versucht man auf diese Weise zu beobachten, so erhält man in gewissen Grenzen ein unruhiges Hin- und Herwandern der Elektrometernadel, das eine genaue Messung ausschließt. Während es also bei Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses nach unserer Schaltung nur zweckmäßiger war, T_x so zu erden, daß E_2 und E_1' nahe den Winkel 0 bilden, ist dies bei Bestimmung der Phasenabweichung unbedingt nötig. Weiter zeigt die andere Form der Elektrometerkonstanten in Gl. 14), daß man es hier im allgemeinen mit einer anderen Empfindlichkeit zu tun hat wie in Gl. 13).

Um zu entscheiden, ob δ' einem Voreilen oder Nacheilen von E_1' gegen E_2 entspricht, schaltet man z. B. an der Stelle S in Fig. 1 eine Selbstinduktionsspule L' (0,986 Henry in unserem Falle) in Serie mit R und mißt die dadurch geänderte Phasenabweichung δ_l' zwischen E_1' und E_2. Da durch das Einschalten von L' der Strom in R und damit die Klemmenspannung E_1' am ohmischen Widerstande r zeitlich nach *rückwärts* geschoben wird, so liegt E_1' zeitlich *hinter* E_2, wenn, bei gleichsinnigem Ausschlag des Elektrometers in beiden Fällen, δ_l' größer ist als δ', und umgekehrt. Vor der Messung von δ_l' ist natürlich die durch das Einschalten von L' gestörte Gleichheit von E_1' und E_2 wiederherzustellen. Zu bemerken ist, daß bei großen Werten von R und r schon das Anlegen der kurzgeschlossenen Selbstinduktionsspule an S wegen ihrer Kapazität gegen Erde eine Änderung von Übersetzungsverhältnis und Phasenabweichung bewirken kann. Dieser Einfluß ist sinngemäß zu eliminieren (s. das Beispiel auf *S. 343*).

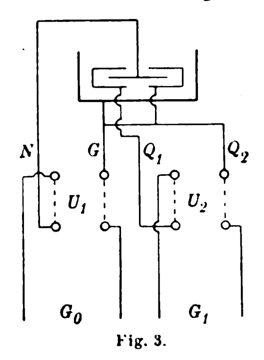


Fig. 3.

Die für die Berechnung von δ' notwendige Elektrometerkonstante $\frac{1 + \mathfrak{A}\,(H^2 + E_2^2)}{b_1}$ bestimmt man mit Gleichspannungen durch Ablenkungsbeobachtungen in der Quadrantschaltung. Man schaltet (Fig. 3) Q_2 an G, zwischen Q_1 und G eine kleine Spannung G_1 (z. B. ein Normalelement von 1,0183 Volt), zwischen N und G eine Spannung $G_0 = \sqrt{H^2 + E_2^2}$ und kommutiert nach folgendem Schema[1]):

[1]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* **23.** *S. 102. 1903.*

Stellung des Kommutators U_1	U_2	$a_0 G_0^2$	$+ a_1 G_1^2$	$+ b_1 G_0 G_1$	$+ c_0 G_0$	$+ c_1 G_1$	$(1 + \mathfrak{A} G_0^2) z$
ǀǀ	ǀǀ	+	+	−	+	−	z_1
=	ǀǀ	+	+	+	−	−	z_2
=	=	+	+	−	−	+	z_3
ǀǀ	=	+	+	+	+	+	z_4

Bildet man

$$\alpha = \frac{1}{4}(z_1 - z_2 + z_3 - z_4),$$

so erhält man die Elektrometerkonstante

$$\frac{1 + \mathfrak{A} G_0^2}{b_1} = \frac{G_0 G_1}{\alpha}.$$

Ist $\mathfrak{A}$ durch Justieren des Elektrometers gleich 0 gemacht, so kann die Gleichstromeichung statt bei der Spannung $G_0 = \sqrt{E_2^2 + H^2}$ bei einer beliebigen Spannung G_0, die groß ist gegen G_1, erfolgen.

b) **Einfluß der Kapazität des Elektrometers auf die Phasenabweichung.**

Es handelt sich wie beim Übersetzungsverhältnis um zwei mögliche Störungen.

Erstens bewirkt der Kapazitätsstrom i, der im Aufhängedraht der Nadel (Widerstand w) fließt, in diesem einen Spannungsabfall $i\,w$, sodaß zwischen N und G nicht die zwischen den Zuleitungsklemmen gemessene Hilfsspannung h, sondern die Spannung s liegt. Es ist

$$h - s = i\,w$$

und

$$i = \frac{dq_0}{dt} = \frac{d}{dt}[(2a + b)s - a(e_2 + e_1')]$$

oder, weil für $a = 0$ sehr nahe $e_1' = e_2$ wird,

$$i = \frac{d}{dt}[(2a + b)s - 2a\,e_2].$$

Führt man komplexe Größen ein, so erhält man

$$\mathfrak{H} - \mathfrak{S} = j\,\omega\,w\,[(2a + b)\mathfrak{S} - 2a\,\mathfrak{E}_2],$$

woraus

$$\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{H} + j\,\omega\,w\,2a\,\mathfrak{E}_2}{1 + j\,\omega\,w\,(2a + b)}$$

oder, wenn man mit $1 - j\,\omega\,w\,(2a + b)$ erweitert und nur lineare Glieder der Teilkapazitäten berücksichtigt,

$$\mathfrak{S} = \mathfrak{H} - \omega\,w\,(2a + b)(j\,\mathfrak{H}) + 2\,\omega\,w\,a\,(j\,\mathfrak{E}_2). \qquad 15)$$

Dazu tritt die Gleichung

$$-(\mathfrak{E}_2^2 - \mathfrak{E}_1'^2) + 2[\mathfrak{S} \times (\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1')] = \frac{D}{b_1}\beta, \qquad 12\text{b})$$

die man erhält, wenn man in Gl. 12) statt der Klemmenspannung h die tatsächlich zwischen N und G liegende Spannung s setzt und komplexe Größen einführt.

Es ist zu bilden

$$[\mathfrak{S} \times (\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1')] = (\mathfrak{S} \times \mathfrak{E}_2) - (\mathfrak{S} \times \mathfrak{E}_1')$$
$$= (\mathfrak{H} \times \mathfrak{E}_2) - (\mathfrak{H} \times \mathfrak{E}_1') - \omega\,w\,(2a + b)[(j\,\mathfrak{H} \times \mathfrak{E}_2) - (j\,\mathfrak{H} \times \mathfrak{E}_1')]$$
$$- 2\,\omega\,w\,a\,(j\,\mathfrak{E}_2 \times \mathfrak{E}_1').$$

Kombiniert man die Gl. 15) und 12b), so erhält man also, wenn man Effektivwerte einführt und die Bedeutung von δ' und ε auf *S. 339* beachtet,

$$\frac{D}{b_1}\beta = -(E_2^2 - E_1'^2) + 2\left\{H E_2 \sin\varepsilon - H E_1' \sin(\varepsilon + \delta')\right.$$
$$\left. - \omega w (2a + b)\left[H E_2 \cos\varepsilon - H E_1' \cos(\varepsilon + \delta')\right] - 2\omega w a E_2 E_1' \sin\delta'\right\}.$$

Macht man $E_1' = E_2$, und beachtet man, daß ε und δ' sehr kleine Größen sind, so erhält man

$$\frac{D}{b_1}\beta = 2(-H E_2 \delta' - 2\omega w a E_2^2 \delta').$$

Es ergibt sich also statt der Gl. 13) für die Phasenabweichung δ' zwischen E_1' und E_2 (vgl. *S. 340*) die Gleichung

$$-2 H E_2 \delta' = \frac{1 + \mathfrak{A}(H^2 + E_2^2)}{b_1}\beta\left(1 - 2\omega w a \frac{E_2}{H}\right). \qquad 13a)$$

In dem Meßbeispiel *S. 343 u. folg.* ist $H = E_2 = 150$ Volt. Unter den auf *S. 337* gemachten Annahmen über w und ω ist dann

$$2\omega w a \frac{E_2}{H} = 2\omega w a = 5{,}7 \cdot 10^{-6},$$

d. h. der durch den Widerstand des Aufhängedrahtes bedingte Fehler bei der Bestimmung von δ' ist praktisch Null.

Zweitens ist wieder die Störung durch den von der Abzweigstelle des Widerstandes R auf Q_1 bezw. Q_2 fließenden Kapazitätsstrom $i_1 - i_2$ zu beachten (Fig. 2). Für die vorliegende Schaltung ist

$$i_1 - i_2 = \frac{dq_1}{dt} = \frac{d}{dt}\left[(a + c + d)e_1' - a h - d e_2\right]$$

oder, da vor Messung der Phasenabweichung e_1' sehr nahe gleich e_2 gemacht wird,

$$i_1 - i_2 = \frac{d}{dt}\left[(a + c)e_1' - a h\right] = \frac{d}{dt}\left[(a + c)i_2 r - a h\right].$$

Unter Anwendung komplexer Größen wird diese Gleichung

$$\mathfrak{J}_1 - \mathfrak{J}_2 = j\omega\left[(a + c)\mathfrak{J}_2 r - a\mathfrak{H}\right],$$

woraus

$$\mathfrak{J}_1 = \mathfrak{J}_2\left[1 + j\omega(a + c)r\right] - j\omega a\mathfrak{H}. \qquad 16)$$

Dazu tritt die Gleichung

$$\mathfrak{E}_1 = \mathfrak{J}_2 r + \mathfrak{J}_1(R - r). \qquad 10)$$

Gl. 10) und 16) kombiniert ergeben

$$\mathfrak{E}_1 = \mathfrak{J}_2\left[R + j\omega(a + c)(R - r)r\right] - j\omega a(R - r)\mathfrak{H},$$

woraus

$$\mathfrak{J}_2 r = \frac{\frac{r}{R}\mathfrak{E}_1 + j\omega a\frac{(R - r)r}{R}\mathfrak{H}}{1 + j\omega(a + c)\frac{(R - r)r}{R}}$$

oder, wenn man mit

$$1 - j\omega(a + c)\frac{(R - r)r}{R}$$

erweitert und nur lineare Glieder der Teilkapazitäten beibehält,

$$\mathfrak{J}_2 r = \mathfrak{E}_1' = \frac{r}{R}\mathfrak{E}_1 + \omega a\frac{(R - r)r}{R}(j\mathfrak{H}) - \omega(a + c)\frac{(R - r)r}{R}\frac{r}{R}(j\mathfrak{E}_1) \qquad 17)$$

und

$$\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1' = \mathfrak{E}_2 - \frac{r}{R}\mathfrak{E}_1 - \omega a\frac{(R - r)r}{R}(j\mathfrak{H}) + \omega(a + c)\frac{(R - r)r}{R}\frac{r}{R}(j\mathfrak{E}_1). \qquad 18)$$

Dazu tritt die Elektrometergleichung

$$-(\mathfrak{E}_2^2 - \mathfrak{E}_1'^2) + 2[\mathfrak{H} \times (\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1')] = \frac{D}{b_1}\beta, \qquad 12c)$$

die man erhält, wenn man in Gl. 12) komplexe Größen einführt.

Aus Gl. 12c) und 18) folgt, wenn man Effektivwerte einführt, dabei die Bedeutung von ε auf *S. 339* und außerdem beachtet, daß δ die Phasenabweichung zwischen E_1 und E_2 darstellt (vgl. *S. 340*), und daß ε und δ sehr kleine Winkel sind,

$$\frac{D}{b_1}\beta = -(E_2^2 - E_1'^2) + 2\left[E_2 H \varepsilon - \frac{r}{R} E_1 H(\varepsilon + \delta) + \omega(a + c)\frac{(R-r)r}{R}\frac{r}{R} E_1 H\right].$$

Es sei wieder E_1' genau gleich E_2 gemacht; dann ist nach Gl. 11) bis auf quadratische Glieder der Kapazität auch $\frac{r}{R} E_1 = E_2$. Berücksichtigt man das, so wird unsere Gleichung

$$\frac{D}{b_1}\beta = -2 H E_2 \left[\delta - \omega(a + c)\frac{(R-r)r}{R}\right], \qquad 13b)$$

wo $D = 1 + \mathfrak{A}(H^2 + E_2^2)$ ist.

Sie besagt Folgendes. Infolge der Kapazität des Elektrometers ist die mit diesem gemessene Phasenabweichung δ' zwischen E_1' und E_2 nicht identisch mit der Phasenabweichung δ zwischen E_1 und E_2, sondern es ist

$$\delta = \delta' + \omega(a + c)\frac{(R-r)r}{R} = \delta' + \eta.$$

η bedeutet also die durch die Elektrometerkapazität verursachte Phasenabweichung zwischen E_1 und E_1'. Betreffs ihrer Richtung folgt, da man Gl. 17) unter Vernachlässigung der mit $\mathfrak{H}$ multiplizierten Glieder, die in die Endgleichung erst in zweiter Näherung eingehen, auf die Form bringen kann

$$\frac{\mathfrak{E}_1'}{\mathfrak{E}_1} = \frac{r}{R}\left[1 - j\,\omega(a + c)\frac{(R-r)r}{R}\right],$$

daß E_1 um den Winkel

$$\eta = \omega(a + c)\frac{(R-r)r}{R}$$

zeitlich *vor* E_1' liegt[1]). Da außerdem die Richtung der Phasenabweichung δ' zwischen E_1' und E_2 in der auf *S. 340* beschriebenen Weise festgestellt werden kann, so ist die Phasenabweichung δ zwischen E_1 und E_2 nach Größe und Richtung bestimmt.

Unter den auf *S. 337* gemachten Annahmen wird

$$\eta = \omega(a + c)\frac{(R-r)r}{R} \cdot \frac{10\,800}{\pi} = 1{,}58 \text{ Minuten.}$$

Diese Kapazitätskorrektion ist in unserem Meßbeispiel, weil von Einfluß, zu berücksichtigen.

4. Meßbeispiel.

Untersucht wurde ein Präzisionsspannungstransformator von Siemens & Halske A.-G. für $^{12000}/_{150}$ Volt, und zwar bei 12000 Volt Primärspannung und bei offener Sekundärspule. Die Sekundärspannung E_2 ist dann bis auf einige Promille gleich 150 Volt. Die primären Klemmen des Transformators sind mit U und V, die sekundären mit u und v bezeichnet. Die Hilfsspannung H wurde zu 150 Volt gewählt.

[1]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* **29.** *S. 34. 1909*; Derselbe, „Kapazität und Induktivität". Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn 1909. *S. 98 u. folg.*

Die zur Berechnung der Phasenabweichung notwendige Elektrometerkonstante wurde für $E_2 = H = 150$ Volt zu

$$\frac{1 + \mathfrak{A}(H^2 + E_2^2)}{b_1} = 0{,}835_6$$

ermittelt. $R - r$ ist in allen Fällen gleich 1 601 737 Ohm. Vor Beginn der mitgeteilten Beobachtungen hat das System 1 Stunde unter Spannung gestanden[1]). Die Beobachtungen erfolgten bei der Frequenz 50.

1. Geerdet sind V und v; δ ist dann nahe 0.

a) Übersetzungsverhältnis; Schalter I ist nach links gelegt.

Es wurde beobachtet

$$r = 20\,368{,}4 \qquad \begin{aligned} z_1 &= 508{,}3 \\ z_2 &= 508{,}3 \\ \hline \alpha &= 0{,}0. \end{aligned}$$

Es ist also

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R}{r} = 80 \cdot 0{,}995\,47_9.$$

Weiter wurde beobachtet

$$r = 20\,367{,}4 \qquad \begin{aligned} z_1 &= 507{,}0 \\ z_2 &= 509{,}6 \\ \hline \alpha &= -2{,}6. \end{aligned}$$

Ist also so abgeglichen, daß nicht $\alpha = 0$, sondern $\alpha = 1$ ist, so wird $\frac{E_1}{E_2}$ um 0,000019 falsch. Das bestätigt die Rechnung auf *S. 335*.

b) Phasenabweichung; Schalter I ist nach rechts gelegt.

Es wurde beobachtet

$$\alpha = 0, \text{ wenn } r = 20\,368{,}4 \qquad \begin{aligned} z_1 &= 522{,}7 \\ z_2 &= 507{,}8 \\ \hline \beta &= +14{,}9. \end{aligned}$$

Daraus berechnet sich die Phasenabweichung δ' zwischen E_1' und E_2 zu (s. *S. 339* und *344*)

$$\delta' = 0{,}0638 \cdot 14{,}9 = 0{,}95 \text{ Minuten.}$$

Wird jetzt L' kurzgeschlossen an S (Fig. 1) gelegt, so wird beobachtet

$$\alpha = 0, \text{ wenn } r = 20\,367{,}6 \qquad \begin{aligned} z_1 &= 525{,}3 \\ z_2 &= 505{,}0 \\ \hline \beta_1 &= +20{,}3 \end{aligned}$$

und, wenn der Kurzschluß an L' aufgehoben wird,

$$\alpha = 0, \text{ wenn } r = 20\,368{,}2 \qquad \begin{aligned} z_1 &= 530{,}8 \\ z_2 &= 499{,}9 \\ \hline \beta_2 &= +30{,}9. \end{aligned}$$

Reduzieren wir auf den Fall, daß die Wirkung der kurzgeschlossenen Spule an S gleich 0 wird, so erhalten wir

$$\beta_2' = 30{,}9 - (20{,}3 - 14{,}9) = +25{,}5\,.$$

Durch Einschalten von L' bei S wird also die Phasenabweichung

$$\delta_l' = 25{,}5 \cdot 0{,}0638 = 1{,}63 \text{ Minuten.}$$

[1]) Übersetzung und Phasenabweichung werden durch Dauereinschaltung sehr wenig, aber für unsere sehr empfindliche Methode immerhin merklich verändert. Es mag dahingestellt bleiben, ob das in einem Temperaturkoeffizienten des Unterteilungswiderstandes oder des Transformators oder in beiden seinen Grund hat.

Mit Berücksichtigung der Ausführungen auf *S. 340* folgt hieraus, daß E_1' um den Winkel $\delta' = 0{,}95$ Minuten zeitlich *hinter* E_2 liegt (Fig. 4). Wegen der Kapazität des Elektrometers liegt E_1 um $\eta = 1{,}58$ Minuten *vor* E_1' (*S. 343*). Demnach ist die Phasenabweichung zwischen E_1 und E_2

$$\delta = 0{,}63 \text{ Minuten},$$

und zwar liegt E_1 zeitlich *vor* E_2.

$$\delta_i' - \delta' = 0{,}68 \text{ Minuten}$$

Fig. 4.
Der Pfeil bedeutet den Vektorendrehsinn.

ist die durch das Einschalten von L' bewirkte Rückwärtsverschiebung des Stromes in R. Sie berechnet sich unter den vorliegenden Verhältnissen aus R, L' und ω zu 0,67 Minuten. Beobachtung und Rechnung stimmen also sehr gut.

2. Geerdet sind V und u; δ ist dann nahe 180°.

Es ist dann nach unserer Methode nur das Übersetzungsverhältnis bestimmbar (*S. 334 u. 340*). Es wurde beobachtet

$$r = 20368{,}4 \qquad z_1 = 448{,}9$$
$$z_2 = 448{,}9$$
$$\alpha = 0{,}0\,.$$

$\frac{E_1}{E_2}$ hat also genau denselben Wert, als wenn V und v geerdet sind.

Es wurde weiter beobachtet

$$r = 20367{,}4 \qquad z_1 = 448{,}6$$
$$z_2 = 449{,}2$$
$$\alpha = -0{,}6\,.$$

Die Methode hat demnach rund eine 4-mal kleinere Empfindlichkeit als in dem Fall, wo V und v geerdet sind. Das liegt an dem Unterschied der Elektrometerkonstanten in den beiden Fällen (s. *S. 334*). Daß diese so stark differieren können, ist wohlbekannt[1]). Der große Unterschied in den Werten für z_1 bezw. z_2 in den Fällen *1.* und *2.* ist durch die Elektrometerkonstante b_0 bedingt, die nicht gleich 0 ist und im Schema *S. 334* in Fall *1.* mit $+E_2 E_1'$, in Fall *2.* mit $-E_2 E_1'$ multipliziert auftritt.

3. Geerdet sind U und u; δ ist dann nahe 0.

Es wurde beobachtet

$$\frac{E_1}{E_2} = 0{,}99610_2\,,$$

$$\delta = 2{,}84 \text{ Minuten},$$

und zwar liegt E_1 um diesen Betrag zeitlich *hinter* E_2.

Fall *1.* und *3.* geben also etwas verschiedene Transformatorkonstanten. Es ist demnach nicht gleichgültig, welchen Pol der Hochspannungswickelung des Transformators man erdet.

Die in dem vorstehenden Beispiel mitgeteilten Zahlen sind relativ zueinander in den besprochenen kleinen Fehlergrenzen richtig, weil sie alle in derselben Versuchsanordnung gewonnen sind. Bei verschiedenen Versuchsanordnungen erhält man größere Abweichungen, weil es einerseits nicht genau möglich ist, eine Hochspannung in der in der Einleitung geforderten Art zu unterteilen, und weil andrerseits die Störung der Phasenabweichung durch die Kapazität des Elektrometers und seiner Zuleitungen, wegen der Beeinflußbarkeit der letzteren durch andere, Spannung führende

[1]) E. Orlich, *diese Zeitschr.* **23.** *S. 103, 106. 1903.*

Leitungen, schwer richtig in Rechnung zu setzen ist. Hier sei nur kurz bemerkt, daß es möglich erscheint, den Absolutwert des Übersetzungsverhältnisses auf einige zehntel Promille, den Absolutwert der Phasenabweichung auf einige Minuten sicher zu erhalten (s. Fußnote [2]) auf *S. 332*).

5. Vergleich von Spannungstransformatoren mit einem Normalspannungstransformator.

Wenn ein Spannungstransformator mit genügend vielen Meßbereichen zur Verfügung steht, dessen Konstanten genau ermittelt sind, so ist es empfehlenswert, andere Transformatoren mit diesem Normaltransformator zu vergleichen. Man schaltet dazu die Primärwickelung der beiden Apparate parallel, schließt die größere Sekundärspannung durch einen Abzweigwiderstand R und mißt nach der beschriebenen Methode das Verhältnis der beiden (nahe gleichgroßen) Sekundärspannungen und ihre Phasenabweichung. Dabei kann man die Empfindlichkeit der Methode voll ausnutzen; denn einerseits ist es leicht, eine Niederspannung in der in der Einleitung erwähnten Art zu unterteilen, andrerseits wird die Korrektion η (s. *S. 343*) bei gleichbleibendem r um so kleiner, je mehr sich R dem r nähert.

Ablesevorrichtung für Nonien und Magnetnadeln.

Von
Wilhelm Breithaupt in Cassel.
(Mitteilung aus dem mathem.-mech. Institut von F. W. Breithaupt & Sohn.)

Das Ablesen beider Nonien der Kreise wie auch beider Pole der Magnetnadel ist in engen Grubenräumen beschwerlich, unter Umständen ganz unmöglich und doch bei genauen Messungen nicht zu entbehren. Auch für Arbeiten über Tage des Markscheiders wie des Geodäten ist es eine Zeitersparnis bei genaueren Winkelbestimmungen, beide Nonien der Kreise von einem Standpunkt aus rasch ablesen zu können.

Wir haben zu dem Zweck eine Vorrichtung konstruiert[1]), die aus zwei selbständigen optischen Ablesungen besteht. Die Ablesung des Nonius I oder des Südpols der Magnetnadel erfolgt durch ein Prisma, dessen eine Fläche sphärisch gekrümmt ist, die Ablesung des Nonius II oder des Nordpols der Magnetnadel dagegen mittels zweier Prismen, die ein Parallelogramm bilden, unter Zuhilfenahme zweier Linsen, die zur Vergrößerung dienen, und eines rechtwinkligen Prismas; die optische Achse erfährt eine dreimalige Ablenkung. Durch die Anwendung des Parallelogramms ist es vermieden, daß die optischen Achsen beider Ablesungen sich schneiden, während man doch gleichzeitig die Beobachtung beider Nonien oder beider Magnetnadelenden von einem Standpunkt aus vornehmen kann. Man erreicht dadurch vor allen Dingen, daß Reflexe und diffuses Seitenlicht, welche die Beobachtungen erschweren, vermieden werden.

Fig. 1 zeigt die neue Vorrichtung zum Ablesen der Nonien des Höhenkreises und zum Ablesen der Nadelenden einer kastenförmigen Orientierungsbussole.

Der eine Einblick der Vorrichtungen dient zum Ablesen des Nonius I bezw. des Südpols der Nadel, der andere zum Ablesen des Nonius II bezw. des Nordpols der Nadel.

---

[1]) Eingetragen am 25. 2. 1911 als D. R. G. M. Nr. 460065 und D. R. P. a.

Die Fig. 2 und 3 zeigen das Gesichtsfeld der beiden Ablesevorrichtungen für Nonien und Magnetnadel. Die Vergrößerung ist stärker als die der gebräuchlichen Ableselupen, und doch bleibt das Gesichtsfeld hell und klar. Die Verbindung der Ablesevorrichtung mit dem Höhenkreise ist in einfacher Weise bewirkt. Die Achse dieser Vorrichtung findet Aufnahme in der durchbohrten Horizontalachse des Theodolits und wird durch zwei Führungen gehalten, sodaß man das Fernrohr des Theodolits bewegen kann, ohne daß die Vorrichtung ihre Stellung über den Nonien verläßt. Für das Auge des Beobachters wird die Vorrichtung ebenso wie eine Lupe eingestellt.

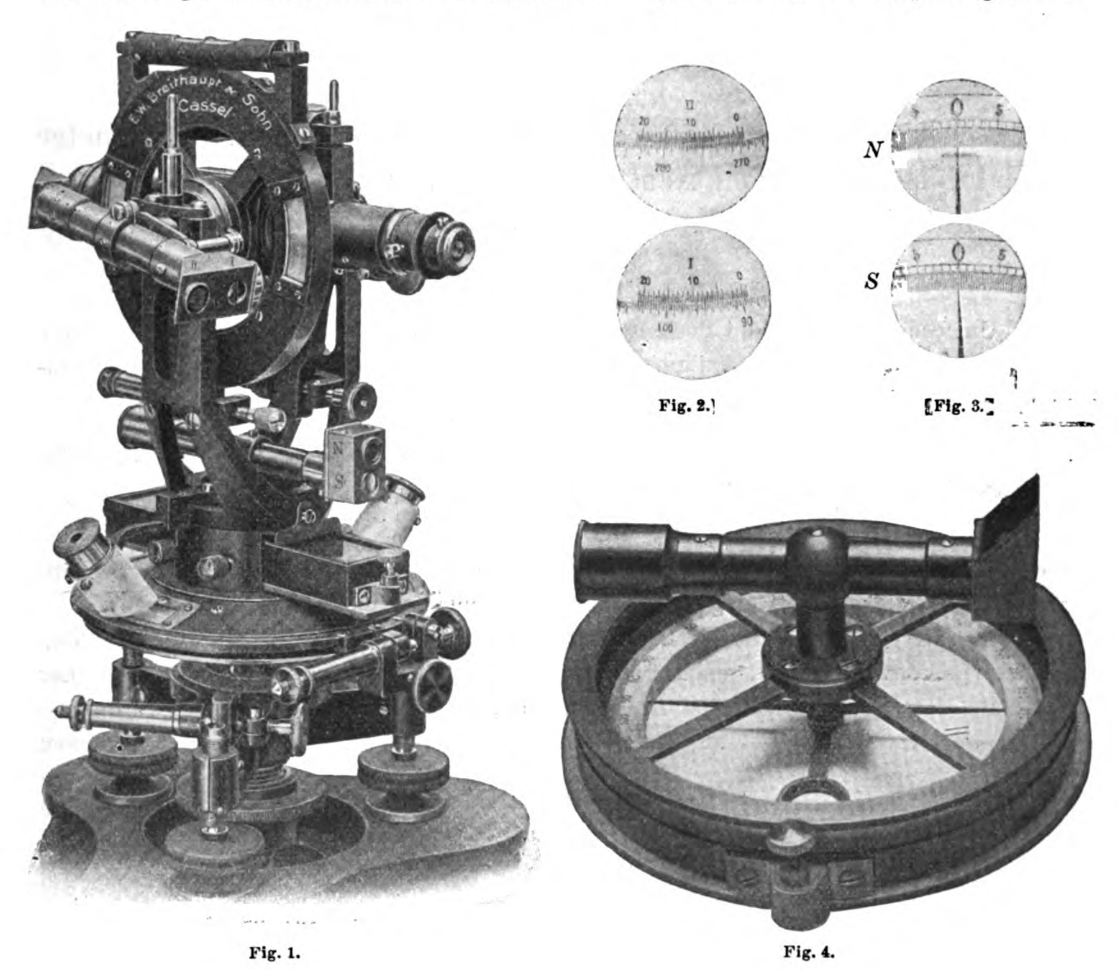


Fig. 2. Fig. 3.

Fig. 1. Fig. 4.

Die Ablesevorrichtung der Magnetnadel dreht und schiebt sich mit ihrer Vertikalachse in einer Buchse, welche in der Mitte des Trägers befestigt ist; sie läßt sich, wenn man das Fernrohr durchschlagen will, leicht entfernen. Die Orientierungsbussole selbst wird mit Hilfe des Fernrohrs in der von mir früher angegebenen Weise in eine Vertikalebene mit der Visierlinie gebracht (vgl. *Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen* **48.** *S. 451. 1900*).

Zur Ablesung der Nonien des Horizontalkreises ist es nötig, die Nonien in die Richtung der Visur des Fernrohrs zu legen. Es fällt dann die Orientierungsbussole unter dem Träger fort, und wird ihre Stelle von der Ablesevorrichtung eingenommen. Die Bussole findet dann ihren Platz in bekannter Weise auf der Horizontalachse des Theodolits.

Für eine runde Bussole ist die Verbindung der Ablesevorrichtung in Fig. 4 dargestellt. Die Vorrichtung dreht und schiebt sich mit einer Vertikalachse in einer Buchse, welche mit dem speichenartig ausgebrochenen Deckel der Bussole verbunden ist. Dieser Deckel läßt außerdem eine sanfte Drehung zu, damit niemals eine Speiche die Magnetnadel zudeckt, man also die Magnetnadel in allen Stellungen ablesen kann.

Nach vielen Versuchen ist es den bekannten Wetzlarer Optischen Werken M. Hensoldt & Söhne gelungen, die für diese Ablesevorrichtungen nötigen Prismen und Linsen so herzustellen, daß sie bei der geforderten Vergrößerung hinreichend Licht und großes Gesichtsfeld ergeben.

Entwickelung des ersten Gliedes der Aberration endlich geöffneter Lichtbüschel für den Achsenobjektpunkt einer lichtbrechenden Rotationsfläche, deren Querschnitt ein Kegelschnitt ist.

Von
Max Lange in Berlin-Friedenau.

Um die Größe des von der Kegelschnittgestalt herrührenden Zerstreuungsfehlers n erster Annäherung zu bestimmen, benutzen wir die Scheitelgleichung des Kegelschnitts in der Form

$$\varrho \cdot y^2 = 2x - \varepsilon x^2, \tag{1}$$

die eine Ellipse für $\varepsilon > 0$, eine Parabel für $\varepsilon = 0$, eine Hyperbel für $\varepsilon < 0$ darstellt.

Die Gleichung des Lichtstrahls sei

$$x = p + k\alpha^2 - y \operatorname{cotg} \alpha, \tag{2}$$

wo k den Koeffizienten des zweiten Gliedes in der Reihenentwickelung der Schnittweite nach Potenzen des Öffnungswinkels α bedeutet.

Es soll nun die optische Invariante ($n \sin \omega$), wo ω den Einfallswinkel, n den Brechungsindex bedeutet, nach Potenzen der ebenfalls invarianten Größe y (der Ordinate des Schnittpunkts des Strahls mit dem Kegelschnitt) entwickelt werden.

Man erhält zunächst aus Gl. 2) unter Vernachlässigung der höheren Potenzen von α

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y(p - x - k\alpha^2)}{(p - x)^2}. \tag{3}$$

Aus Gl. 1) ergibt sich unter Vernachlässigung der höheren Potenzen von y

$$x = \frac{\varrho y^2}{2}. \tag{4}$$

Setzt man nun

$$\alpha = Ay + By^3, \tag{5}$$

so wird

$$\operatorname{tg} \alpha = Ay + \frac{A^3 + 3B}{3} y^3, \tag{6}$$

und durch Einsetzen in Gl. 3) erhält man

$$(2p^2 - 2p\varrho y^2)[3A + (A^3 + 3B)y^2] = 6p - (3\varrho + 6A^2k)y^2 \tag{7}$$

oder

$$6Ap^2 + (2A^3p^2 + 6Bp^2 - 6Ap\varrho)y^2 = 6p - (3\varrho + 6A^2k)y^2. \tag{8}$$

Da diese Gleichung für jedes y gelten soll, so folgt daraus

$$A = \frac{1}{p} \tag{9}$$

$$B = \frac{3p^2\varrho - 6k - 2p}{6p^4}. \tag{10}$$

Eine einfache geometrische Überlegung führt weiter zu der Gleichung

$$\operatorname{tg}(\alpha - \omega) = \frac{dx}{dy} = \varrho \cdot y + \frac{\varrho^2 \varepsilon}{2} y^3, \tag{11}$$

wo die Differentiation an der Gleichung des Kegelschnitts vorgenommen ist.

Daraus folgt

$$\alpha - \omega = \varrho \cdot y + \frac{3 \varrho^2 \varepsilon - 2 \varrho^3}{6} y^3 \tag{12}$$

und durch Subtraktion von α unter Benutzung der Werte von A und B

$$\omega = \frac{1 - p\varrho}{p} y + \frac{3 \varrho p^3 - 3 \varrho^2 \varepsilon p^4 + 2 \varrho^3 p^4 - 6 k - 2 p}{6 p^4} y^3 \tag{13}$$

$$\sin \omega = \frac{1 - p\varrho}{p} y + \frac{\varrho^3 p^4 - \varrho^2 \varepsilon p^4 - p^3 \varrho^2 + 2 \varrho p^2 - p - 2 k}{2 p^4} y^3. \tag{14}$$

Setzt man jetzt die optische Invariante des Zentralstrahls

$$n \cdot \frac{1 - p\varrho}{p} = Q, \tag{15}$$

so wird

$$n \sin \omega = Q \cdot y + \left(\frac{n \varrho^2 (\varrho - \varepsilon)}{2} - \frac{Q^2}{2 n p} - \frac{n k}{p^4} \right) y^3. \tag{16}$$

Entsprechend gilt für den gebrochenen Strahl, dessen Konstanten durch einen beigefügten Strich gekennzeichnet sein sollen,

$$n' \sin \omega' = Q \cdot y + \left(\frac{n' \varrho^2 (\varrho - \varepsilon)}{2} - \frac{Q^2}{2 n' p'} - \frac{n' k'}{p'^4} \right) y^3 \tag{17}$$

und, da nach dem Snelliusschen Gesetz

$$n' \sin \omega' = n \sin \omega \tag{18}$$

ist,

$$\frac{n' k'}{p'^4} - \frac{n k}{p^4} = \frac{(n' - n) \varrho^2 (\varrho - \varepsilon)}{2} - \frac{Q^2}{2} \left(\frac{1}{n' p'} - \frac{1}{n p} \right). \tag{19}$$

Führt man noch die Achsenneigungen a und die Einfallshöhen h des Zentralstrahls ein, so wird

$$p = \frac{h}{a}, \qquad p' = \frac{h}{a'}. \tag{20}$$

Bei mehreren Flächen gilt

$$k_{k+1} = k'_k, \qquad n_{k+1} = n'_k, \qquad a_{k+1} = a'_k, \tag{21}$$

und man erhält

$$k_{m+1} = \frac{n_1 a_1^4}{n_{m+1} a_{m+1}^4} k_1 + \frac{1}{2 n_{m+1} a_{m+1}^4} \sum_{k=1}^{k=m} h_k^4 \left[\varrho_k^2 (\varrho_k - \varepsilon_k)(n_{k+1} - n_k) - Q_k^2 \left(\frac{1}{n_{k+1} p'_k} - \frac{1}{n_k p_k} \right) \right]. \tag{22}$$

Für $\varrho = \varepsilon$ fällt diese Formel mit der bekannten Formel für Kugelflächen zusammen. Die Gl. 22) deckt sich im wesentlichen mit der entsprechenden, von K. Schwarzschild[1]) „Untersuchungen zur geometrischen Optik, I" aus sehr allgemeinen Prinzipien abgeleiteteten Gl. 54 für B. Die Ableitung nimmt dort naturgemäß einen breiteren Raum ein, weil zu gleicher Zeit eine umfassende Theorie entwickelt wird.

Friedenau, Optische Anstalt C. P. Goerz, im Juli 1911.

---

[1]) *Abhandl. d. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen. Math.-phys. Klasse. Neue Folge. Bd. IV. Nr. 1—3. Berlin 1905:* Referat in *dieser Zeitschr.* **26.** *S. 262. 1906.*

Referate.

Kameraobjektive für Spektrographen.

Von J. S. Plaskett. *Astrophys. Journ.* **29.** *S. 290. 1909.*

In den älteren Sternspektrographen wurden als Kameraobjektive stets einfache achromatische Fernrohrobjektive verwendet. Da bei diesen eine starke Bildwölbung unvermeidlich ist, so hatten die Spektrographen, da man nur ebene photographische Platten benutzte, ein sehr beschränktes brauchbares Bildfeld; der Bildwinkel überschritt nicht 2°. Zwar hätte man diesem Übelstande durch Verwendung eines der modernen photographischen Kameraobjektive, die ebene Bilder von mehr als 60° Ausdehnung liefern, abhelfen können. Allein bei diesen Objektiven ist die Korrektur der sphärischen Aberration in der Regel nur so weit getrieben, daß die Bildschärfe wohl für die Betrachtung mit bloßem Auge ausreicht, nicht aber den strengen Bedingungen genügt, wie sie die wissenschaftliche Photographie, besonders die Astrophysik stellt. Aus diesem Grunde schuf Referent im Jahre 1901 speziell für obigen Zweck einen neuen Typus von Objektiven[1]), den von der Firma C. Zeiss ausgeführten „Chromat". Bei diesem wurde auf die Erfüllung aller entbehrlichen Bedingungen verzichtet; die Achromatisierung wurde vollständig aufgegeben und die Bildebenung nur bis zu dem praktisch ausreichenden Winkel von 14° durchgeführt; dagegen wurde auf die vollständige Beseitigung der sphärischen Aberration und Koma der größte Fleiß verwendet. Ein solches Objektiv, dessen Konstanten von der Dispersion des Spektrographen abhängen, ließ sich auf viele Arten konstruieren. Um zu einem leicht reproduzierbaren Typus zu gelangen, führte Ref. daher noch die Bedingung ein, daß die beiden durch eine größere Luftschicht getrennten Linsen des Objektivs aus einerlei Glas, und zwar aus dem Glase der Prismen des Spektrographen, bestehen sollten.

Einen solchen Chromaten hat der Verfasser zu seiner vollen Zufriedenheit lange Zeit an dem Spektrographen in Ottawa benutzt. Leider kann dieser Objektivtypus nur bis zu der Öffnung $f:12$ hergestellt werden. Ein Exemplar, das der Verfasser von der Firma Brashear (Allegheny) mit der Öffnung $f:8$ ausführen ließ, gab erheblich schlechtere Definition als das Zeisssche Original. Unter Wahrung des Prinzips der Verwendung nur einer Glassorte konstruierte dann die Firma Ross in London ein aus vier getrennten Linsen bestehendes Objektiv „*Homocentric*", welches noch bei der Öffnung $f:5{,}6$ ein ebenes Bild und ausgezeichnete Definition lieferte.

Alle diese Objektive sind nur für Spektrographen mit 3 Prismen geeignet; bei Verwendung nur eines Prismas würde die notwendige Neigung der Platte zu groß werden. Wie man leicht einsieht, wird die Plattenneigung (entsprechend der chromatischen Aberration des Objektivs) um so kleiner, je geringer die Dispersion der zu den Linsen verwendeten Glassorte ist. Um bei dem Einprismen-Spektrographen die Neigung tunlichst zu vermindern, konstruierte daher Brashear ein zweilinsiges Objektiv aus Kronglas von geringster Dispersion, das „*Single Material*"-Objektiv, mit der Öffnung $f:8$. Ebenso fertigte diese Firma ein dem Chromat ähnliches Objektiv mit der Öffnung $f:12$, jedoch ebenfalls aus leichtem Kronglas an, welches bei dem Dreiprismen-Spektrographen nur eine geringere Plattenneigung als der Chromat erforderte.

Aber auch die beiden letztgenannten Objektive erreichten nicht die gewünschte Lichtstärke von $f:6$. Der Verfasser untersuchte daher noch eine Reihe moderner photographischer Anastigmate, mußte aber bei fast allen feststellen, daß die Definitionsschärfe (d. h. die Beseitigung der Zonenfehler) den strengen Anforderungen des Sternspektrographen nicht genügte. Außer dem oben genannten Rossschen „*Homocentric*" (benutzt wurde $f:6{,}3$) erwies sich nur noch das Zeisssche Tessar ($f:6{,}3$) brauchbar.

Ref. hat im Jahre 1903 eine gleiche (nicht publizierte) Untersuchung von Objektiven ausgeführt, bei der er ebenfalls zu dem Resultat gelangte, daß das Zeisssche Tessar als

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **24.** *S. 257. 1904.*

Spektrographenobjektiv recht brauchbar war, daß es aber namentlich an Definitionsschärfe noch weit übertroffen wurde durch das Apochromatplanar [1]) derselben Firma. Letzteres Objektiv wurde deshalb auch in dem späteren, von Eberhard beschriebenen Potsdamer Spektrographen [2]) zur Anwendung gebracht. Hrn. Plaskett scheint dieser Typus nicht zur Verfügung gestanden zu haben.

Verfasser untersuchte zehn verschiedene Objektive und wandte hierbei eine Modifikation des Hartmannschen Verfahrens der extrafokalen Aufnahmen an. Die gefundenen Bildkrümmungen sind in drei Kurventafeln anschaulich dargestellt. Hier seien die Ergebnisse nur kurz zusammengefaßt.

Für drei Prismen und lange Brennweite (*f*: 12) zeigte sich der Hartmann-Zeisssche Chromat allen anderen Objektiven weit überlegen. Bezüglich der Bildebenung kamen diesem am nächsten die zwei von Brashear dem Chromat nachgebildeten Objektive, das eine aus Flintglas, das zweite aus leichtem Kronglas. Letzteres hat zwar den Vorzug der kleineren Plattenneigung, jedoch ist die Definition bei beiden schlechter als beim Chromat.

Von den lichtstarken Objektiven (*f*: 6) erwiesen sich für drei Prismen das oben erwähnte vierlinsige Rosssche „*Homocentric*“ und das Zeisssche Tessar am brauchbarsten. Definition und Lichtstärke sind bei dem Rossschen Objektiv besser, dagegen die Bildebenung beim Tessar.

Für Spektrographen mit nur einem Prisma gab das „*Single Material*“-Objektiv von Brashear in jeder Beziehung die besten Resultate. *J. H.*

Das polygonometrische Triangulierungsverfahren der argentinischen Landesaufnahme.

Von P. Gast. *Zeitschr. f. Vermess.* **39.** *S. 425, 449. 1910.*

Die Triangulation von Kolonialländern.

Von Demselben. *Ebenda* **39.** *S. 721. 1910.*

In der ersten Arbeit (der weitere Abschnitte folgen sollen) beschreibt der Verf. das von ihm als damaligem Chef der trigonometrischen Abteilung des argentinischen Generalstabs eingeführte „polygonometrische Triangulationsverfahren“, das in Ländern ohne topographische Spezialkarte (und mit geeigneter Bodengestaltung) an die Stelle der Triangulation treten kann. Hier wird die in Europa ausgebildete Triangulation in verschiedenen Genauigkeits- und Größenstufen schwierig anwendbar, schon wegen der langen beanspruchten Zeit; sie verbietet sich sogar ohne weiteres dort, wo die Topographen *zugleich* mit den Trigonometern ihre Arbeit beginnen sollen. Die hohen Genauigkeiten der modernen europäischen Triangulation von etwa $^1/_{100000}$ im Hauptnetz und $^1/_{20000}$ für die benachbarten Kleinpunkte sind dazu in solchen Fällen ganz entbehrlich. Man verzichtet deshalb vielfach auf die Triangulationsstufen und hängt zwischen ziemlich dicht gesäte direkt gemessene Basisstrecken Kleindreiecksketten ein, welche die von dem Topographen gebrauchten Punkte alle zusammen liefern. Auch solche kurze Triangulationszielungen (von etwa 5 *km* Länge) hat der Verf. wegen der Schwierigkeit der Erkundung der Dreieckspunkte in ebenem Gebiete (und der in tropischen und subtropischen Gegenden großen Schwierigkeit genauer Winkelmessung) als sehr zeitraubend kennen gelernt. Er hat deshalb in Argentinien zu einer Polygonzug-Triangulation gegriffen, die, an Genauigkeit geringer als die reine Triangulation, doch in dieser Beziehung noch völlig ausreicht und außer der Lage von Dreieckspunkten (hier als Polygonzugsknotenpunkte entstehend) auch gleich ein sehr willkommenes Gerippe von Linien für die Arbeit des Topographen und des Landmessers liefert. Die (langen) Dreiecksseiten der Triangulation werden nämlich durch Züge ersetzt, die diesen Seiten *ungefähr* folgen, d. h. die annähernd gestreckt zwischen den Haupt-(Knoten-)Punkten verlaufen,

[1]) Einige Zahlenangaben über dieses vortreffliche Objektiv sind in *dieser Zeitschr.* **24.** *S. 115. 1904* zu finden.

[2]) *Diese Zeitschr.* **30.** *S. 43. 1910.*

und deren Seiten nicht direkt, sondern mit Hilfe kurzer Basisstrecken und der ihnen entsprechenden Parallaxenwinkel bestimmt werden. Die Polygonseiten sind durchschnittlich 5 *km*, nur ausnahmsweise mehr als 6 *km* lang; zwei benachbarte Polygonseiten gründen sich auf dieselbe Basis von 2-mal oder 3-mal 96 *m* (96 *m* = Länge des verwendeten Stahlbandes). Der eine Endpunkt jeder der kurzen Basisstrecken ist mit dem Polygonpunkt identisch, in dem die zwei Polygonseiten zusammenstoßen, die Basisstrecke annähernd normal zur Richtung der zwei Polygonseiten. Die Größe der spitzen Winkel betrug zwischen 2° und 4°; Parallaxenwinkel < 2° sind ausgeschlossen worden; ein Zug von 5 oder 10 Polygonseiten (etwa 25 bis 50 *km*) ist einer Dreiecksseite gleichwertig, d. h. die Züge der genannten Seitenzahl schließen sich zu „Dreiecken" zusammen. Bei der Messung der Parallaxen- und der Polygonwinkel wurden zugleich auch die Richtungen nach seitwärts gelegenen, natürlich oder künstlich bezeichneten Punkten beobachtet, sodaß also die Messung zugleich lieferte: ein Netz großer (Haupt-)Dreiecke, deren Seiten aus Polygonzügen bestanden, und dessen Punkte Punkte I. O. vorstellen; die Lagebestimmung der längs ihren Seiten verteilten Polygonpunkte, Punkte II. O.; endlich das Einschneiden von seitwärts gelegenen Punkten III. O. Eine örtliche Erkundung war bei dieser Messungsweise entbehrlich; dem Trigonometer wurde nur vor der Ausreise die ungefähre Lage der neu zu bestimmenden Hauptpunkte (Knotenpunkte) bezeichnet, und alles übrige konnte der großen Anpassungsfähigkeit der Methode ans Gelände überlassen werden.

Bei der Messung sind in den Endpunkten jeder Basisstrecke eiserne, leicht transportable, durch Schrauben zusammensetzbare Pyramiden verwendet. Die sogleich darunter sehr fest aufgestellten Theodolitstative bestanden aus Gußeisen. Auf die Platte des Stativs wurde der Pyramidenpunkt (rundes Loch von 5 *mm* Durchmesser) optisch abgelotet durch ein besonderes einfaches Instrument mit vertikal gerichtetem Fernrohr. Polygonpunkte, die nicht zugleich Basisendpunkte sind, wurden durch einfache (eiserne, leicht zusammensetzbare) Stangensignale bezeichnet. Zur dauernden Bezeichnung der Polygonpunkte dienten versenkte Gasrohre mit der Nummer des Punkts; nördlich und südlich sind in je 1 *m* Entfernung Erdhügel aufgeworfen, unter denen ebenfalls Gasrohre versenkt sind. Auch örtliche Einmessungen der Punkte sind, wo sie möglich waren, vorgenommen.

Zur Winkelmessung wurden Bambergsche Mikroskoptheodolite mit 13 1/2 *cm* Teilungsdurchmesser gebraucht; die Messungen sind *getrennt* für die parallaktischen Winkel (10 Sätze), für die Polygonpunkte (4 Sätze, wobei auf den Punkten, die Basisendpunkte sind, auch die andern Endpunkte der Basisstrecken eingestellt sind) und endlich für die Richtungen nach seitlichen einzuschneidenden Punkten (2 Sätze). Die Winkelmessung war, wie schon angedeutet, trotz der kurzen Zielungen sehr zeitraubend, weil oft nur durch 1 bis 2 Stunden am Nachmittag Bilder von relativer Ruhe zu erhalten waren. Die Vormittage waren im allgemeinen sehr wenig brauchbar; selbst in der kühleren Jahreszeit konnte sehr selten am ganzen Tag mehr als 4 Stunden gemessen werden.

Die 96 *m*-Stahlbänder sind nur 5 *mm* breit, an den Enden je mit 10 *cm* langen 1 *mm*-Teilungen versehen; sie wurden über Spannstative mit 15 *kg* gespannt. Die Ablesemarken sind an den Endpunkten der Basisstrecken die Striche auf den Stativplatten; dazwischen sind Holzstative mit Strichmarken gebraucht. Die Neigungen der Bandlagen sind mit der Kippschraube eines Nivelliers gemessen, mit dessen Fernrohr auch die Zwischenpunkte in die Richtung eingewiesen wurden. Als monatliche Durchschnittsleistung einer eingeübten Gruppe konnten 6 Polygonpunkte angesehen werden, zu denen 8 bis 10 eingeschnittene Punkte hinzukamen, der trigonometrischen Erledigung von 200 bis 300 *qkm* Fläche entsprechend, d. h. dem Jahrespensum von 2 bis 3 Topographen.

Als mittlerer Fehler der Parallaxenwinkelmessung hat sich für das Mittel von 10 gemessenen Sätzen 1″ ergeben. Die Stahlbänder werden in Zukunft wohl durch Invarbänder ersetzt werden. Interessant ist (da man immer den Invarbändern ihre geringe Konstanz vorwirft) ein Sprung in der Länge eines der 96 *m*-Stahlbänder von vollen 7 *mm*, über dessen möglichen Ursprung nichts mitgeteilt wird. Der relative m. F. einer „Dreiecksseite" (Polygonzug

von etwa 8 Seiten) von 40 *km* Länge ergab sich zu etwa $^1/_{40000}$, d. h. also 1 *m* auf die angegebene Länge, ein gewiß sehr befriedigendes Resultat.

Überhaupt ist zweifellos, daß dieses neue „polygonometrische Triangulationsverfahren" des Verf. in ausgezeichneter Weise den besondern Bedürfnissen der Landesvermessung in einem ebenen subtropischen Lande gerecht wird.

Die zweite Arbeit des Verf. über die Landestriangulation in geodätischen und kartographischen Neuländern beginnt mit Besprechung der Basismessung. Hierzu werden in Zukunft wohl fast immer Drähte und Bänder verwendet werden. Da man oft solche Geräte aus Invar nicht mehr rechtzeitig beschaffen kann, so ist mehrfach versucht worden, die schwierige Temperaturbestimmung von Band oder Draht aus Stahl oder aus Messing zu vereinfachen oder zu umgehen: ein Beispiel für das erste Verfahren ist die Verlegung der Messung auf die Nacht (nordamerikanische Geodäten), ein Beispiel für das zweite Verfahren das des Chefs der chilenischen Landesvermessung, Oberst Deinert, das hier einigermaßen charakterisiert sei, weil ein besonderes Referat darüber hier bisher nicht erschienen ist. Deinert hat sein Verfahren in der *Zeitschr. f. Vermess.* ***38.*** *S. 314. 345, 377. 1909* ausführlich beschrieben. Das Wesentliche ist, daß am Ort der Messung mit dem Stahlband während deren ganzer Dauer ein zweites Band von genau derselben Beschaffenheit in Ruhe unter derselben Zugspannung ausgespannt bleibt; den Veränderungen der Temperatur dieses Kontrollbandes entsprechen Veränderungen seiner Spannung, die an einem Spannungsmesser abgelesen werden. Wenn die Temperaturen des bei der Messung verwendeten Bandes und des Kontrollbandes gleich angenommen werden können (ob dies zutrifft, hängt allerdings von sehr vielen Umständen ab), so erhält man ohne Temperaturmessung die Temperaturkorrektionen der einzelnen Lagen des Messungsbandes. Die Methode muß bei Messungen in Chile sehr befriedigt haben; Deinert findet u. a. für den m. F. der in zwei Abschnitten und auch im ganzen durchlaufend gemessenen Basis von 7667 *m* Länge *nach* der Ausgleichung nur $\pm$ 2,77 *mm* bei allerdings zahlreichen Messungen, die aber *sehr rasch* vonstatten gehen (z. B. einmal die ganze Strecke von $7^2/_3$ *km* in 2 Std. 21 Min., 1 *km* in 20 Min. gemessen).

Zu wenig Gebrauch ist immer noch davon gemacht worden, daß die Basisstrecke bei Messungen, die nicht die äußerste Schärfe anstreben, nicht gerade zu sein braucht, sondern sich ziemlich dem Gelände anpassen kann, und daß in diesen Fällen die direkte Messung auch durch Parallaxenmessung ersetzt werden kann (Böhler u. s. f.). Bei der Horizontalwinkelmessung im Dreiecksnetz empfiehlt der Verf. in bestimmten Fällen statt der jetzt allein üblichen Methode der Winkelmessung auf die Methode der Richtungsmessungen mit Nullmarke zurückzugreifen. Wo die regelmäßige Triangulationsmethode aus äußern Gründen ausgeschlossen werden muß, kann sie durch Polygonzüge mit langen, indirekt gemessenen Seiten ersetzt werden (s. oben), im allgemeinen aber nicht durch dicht gedrängte „astronomische" Punkte, weil die Lotabweichungen in diesen nicht bekannt sind. Der Verf. bespricht nochmals kurz sein System bei der argentinischen Landesvermessung, sodann etwas eingehender die *Berechnung* der trigonometrischen Vermessungen, besonders der Koordinaten.

Hammer.

Die thermischen Nachwirkungen der Nickel-Stahl-Legierungen.

Von Ch.-Éd. Guillaume. *Compt. rend.* ***153.*** *S. 156. 1911.*

Die langjährigen Beobachtungen Guillaumes über den Einfluß künstlicher und natürlicher Alterung auf die Nickel-Stahl-Legierungen sind in dem vorliegenden Bericht zusammengefaßt. Für die Verwendung der Legierungen zu metrologischen Zwecken ist darnach folgendes wichtig.

Die meisten Nickel-Stahl-Legierungen müssen vor ihrer Verwendung zu Präzisions-Instrumenten getempert werden. Ein ungetemperter Invarstab (mit 35 bis 36 % Ni) verlängerte sich in 4500 Tagen um etwa 37 μ pro Meter. Ein anderer Stab gleichen Materials wurde nach seiner Fertigstellung auf 150° C. erwärmt und dann innerhalb 50 Tagen auf 40° gekühlt; seine Verlängerung betrug dann nach 4500 Tagen nur ungefähr 16 μ. Die thermischen Nachwirkungen verlaufen bei beiden Stäben so gesetzmäßig, daß die Länge von

Invarstäben, welche keinen erheblichen Temperaturänderungen ausgesetzt werden, aus den von Guillaume ermittelten Änderungskurven mehrere Jahre hindurch extrapoliert werden können. Wird indes ein solcher Stab anormalen Temperatureinflüssen unterworfen, so ist eine neue Grundbestimmung seiner Länge nötig.

Neben dem Invar sind für die wissenschaftliche Technik bekanntlich noch besonders brauchbar die Legierungen mit 42% Ni und mit 56% Ni. Die erstere Legierung ist besonders geeignet zur Konstruktion von Längenmaßen wegen geringer Oxydierbarkeit, verhältnismäßig kleiner Nachwirkungserscheinungen und Wärmeausdehnung (etwa 7 μ pro Meter und 1° C.); die zweite ist gleichfalls wenig oxydierbar, steht jedoch in bezug auf die Wärmeausdehnung dem gewöhnlichen Stahl gleich. Etwa viertägiges Tempern bei 100° führt auch bei diesen Legierungen die Nachwirkungserscheinungen auf ein geringes Maß zurück.

Die Nickel-Stahl-Legierungen zeigen indes nicht nur Nachwirkungen, sondern auch deutlich meßbare *Änderungen der Wärmeausdehnung*. Bei fünf verschieden behandelten Invarstäben wuchs die Wärmeausdehnung innerhalb 4500 Tagen um etwa 7,4%. *G.*

Temperaturmessung zwischen 200° und 450°.

Von L. Holborn und F. Henning. *Ann. d. Physik* ***35.*** *S. 761. 1911.*

Das Platin-Widerstandsthermometer spielt in der exakten Thermometrie eine sehr wesentliche Rolle dank der einfachen Beziehung, die für ein großes Bereich zwischen dem Widerstand und der Temperatur besteht. Kennt man den Widerstand beim Eis- und Siedepunkt des Wassers und bei noch einer dritten Temperatur, so stellt die durch diese drei Punkte gelegte Parabel nach Callendar auch in allen Zwischengebieten die Temperatur als Funktion des Widerstandes dar. Als die dritte Temperatur wird gewöhnlich der Siedepunkt des Schwefels gewählt, den man indessen bisher nur auf mehrere zehntel Grad kennt. Es war die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, diesen wichtigen Fixpunkt mit größerer Genauigkeit zu bestimmen und bei tiefer gelegenen Temperaturen die Formel des Platinthermometers zu kontrollieren. Gleichzeitig wurde die Temperaturskale durch einige weitere Siede- und Erstarrungspunkte festgelegt.

Als Grundlage für die Thermometrie ist die Skale eines idealen Gases zu betrachten, die oberhalb 200° genügend genau durch ein Helium- oder Wasserstoffthermometer zu verwirklichen ist. Mit beiden Gasen wurden Messungen ausgeführt, deren Ziel es war, die Abweichungen des Stickstoffthermometers von der Normalskale zu bestimmen. Die Vergleichung der verschiedenen Gasthermometer geschah in der Nähe von 450°, und zwar mit Hilfe von Platin-Widerstandsthermometern. Es zeigte sich, daß bei dieser Temperatur das Stickstoffthermometer konstanten Volumens (Druck bei 0° etwa 620 *mm* Quecksilber) um 0,1° niedrigere Werte angibt, als sie der idealen Skale entsprechen.

Für die Hauptbeobachtungen bediente man sich des Stickstoffgases in einem Gefäß aus Quarzglas, das wegen seiner geringen Wärmeausdehnung den Vorzug vor anderen Materialien verdient. Helium und Wasserstoff diffundieren jedoch durch Quarzglas; darum mußte die Vergleichung der verschiedenen Gasthermometer, bei der die Ausdehnung des Gefäßes keine Rolle spielt, in Glasgefäßen vorgenommen werden. Für Helium ist sogar auch Glas etwas durchlässig, doch ließ sich diesem Umstande genügend Rechnung tragen.

Mit den Gasthermometern wurden in elektrisch geheizten Öl- und Salpeterbädern zwei Platinthermometer verglichen, deren Dimensionen so bemessen waren, daß sie über die ganze Länge der Gasthermometer integrierten. Diese Maßregel war zweckmäßig, da im Salpeterbad trotz kräftigen Rührens keine völlig homogene Temperatur zu erzielen war. An die langen Thermometer wurden sodann kürzere, für den Gebrauch bestimmte, angeschlossen, wobei man diese in wechselnden Höhen des Bades anordnete.

Die Resultate der Arbeit lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Bestimmt man die Krümmung der Widerstandskurve des Platins bei 450°, so ist bei 200° und 330° innerhalb der Fehlergrenze (0,02° bis 0,03°) Übereinstimmung zwischen Widerstandsthermometer und Gasthermometer vorhanden.

2. Für die beobachteten Fixpunkte gelten folgende Temperaturen, bezogen auf die ideale Skale:

Schwefel, Siedepunkt . . .	$444{,}5_1$	Benzophenon, Siedepunkt .	$305{,}8_9$
Zink, Erstarrungspunkt . .	$419{,}4_0$	Zinn, Erstarrungspunkt . .	$231{,}8_3$
Kadmium, „ . .	$320{,}9_2$	Naphtalin, Siedepunkt . .	$217{,}9_6$.

Hng.

Vorrichtung zur Erzeugung von zirkular polarisiertem Licht.

Von A. E. Oxley. *Chem. News* **102.** *S. 189. 1910.*

Benutzt man zur Herstellung von zirkular polarisiertem Licht das Fresnelsche Glas-Parallelepiped, so ist das hindurchgelassene Licht seitlich verschoben, was zu Unbequemlichkeiten führt, wenn man genötigt ist, das Parallelepiped um seine Längsachse zu drehen. Eine solche seitliche Verschiebung findet zwar nicht statt, wenn eine Platte von $^1/_4$ Wellenlänge Gangunterschied benutzt wird, aber man ist in diesem Falle auf den Gebrauch monochromatischen Lichtes beschränkt. Der Verf. hat daher zwei Vorrichtungen nach dem Fresnelschen Prinzip angegeben, welche weißes Licht zu benutzen gestatten und die austretenden Strahlen gegen die einfallenden nicht verschieben.

Die erste Vorrichtung (Fig. 1) besteht aus zwei aneinander gesetzten Glas-Parallelepipeden. Die einfallenden Strahlen werden an den Flächen A, B, C und D total reflektiert. Bildet dann die Polarisationsebene des einfallenden, linear polarisierten Lichtes mit der Ebene der vierfachen inneren Reflexion einen Winkel von 45°, so ist das austretende Licht zirkular polarisiert, wenn der Winkel der Parallelepipede passend gewählt wird. Ist der Brechungsexponent der benutzten Glassorte $n_{D_1} = 1{,}5035$, so wird zwischen den beiden in der Reflexionsebene bezw. senkrecht dazu schwingenden Komponenten insgesamt gerade eine Phasenverzögerung von $\pi/2$ hervorgerufen, wenn der Winkel der Parallelepipede den Wert 74° 38,2′ oder 42° 34,8′ hat. Der größere dieser Werte ist zu wählen, weil für diesen die Abhängigkeit der Phasendifferenz von der Wellenlänge nur gering ist. Dann wird aber für eine gegebene Öffnung die Länge der Parallelepipede verhältnismäßig recht groß.

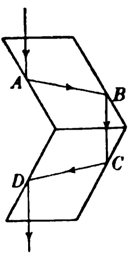


Fig. 1.

Bedeutend vorteilhafter verhält sich in dieser Hinsicht die zweite, in Fig. 2 dargestellte Vorrichtung, bei welcher die Strahlen eine dreimalige totale innere Reflexion erleiden. In die Figur ist der Verlauf der beiden Randstrahlen der freien Öffnung von AB eingezeichnet. Die beiden Trapezoide werden vom Verf. wieder nur miteinander in Berührung gebracht. Zwischen den beiden Komponenten wird insgesamt wieder eine Phasenverzögerung von $\pi/2$ erzeugt, wenn der spitze Winkel der Trapezoide 73° 48,6′ beträgt. Beim schrägen Durchgang durch die zwischen den beiden Trapezoiden befindliche Luftschicht werden nun aber die beiden parallel und senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Komponenten in verschieden starkem Maße geschwächt. Demgemäß werden alle austretenden Strahlen etwas elliptisch polarisiert sein, wenn der Winkel, welchen die Schwingungsebene des einfallenden linear polarisierten Lichtes mit der Kante AB bildet, gleich 45° gewählt wird. Dieser Winkel muß nunmehr, wie der Verf. berechnet, 49° 2′ betragen, damit die beiden Komponenten nach dem Durchgange durch die Luftschicht die gleiche Intensität besitzen und somit das hindurchgelassene Licht zirkular polarisiert wird.

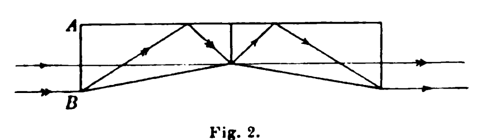


Fig. 2.

Der Verf. ist nicht darauf gekommen, daß sich dieser Nachteil leicht beheben läßt. Man braucht die beiden Trapezoide nur mit Kanadabalsam aneinanderzukitten, dann fallen die ungleichen Schwächungen der beiden Komponenten fort, und das Licht ist praktisch zirkular polarisiert, wenn der Winkel zwischen der Polarisationsebene des auffallenden Lichtes und der Reflexionsebene wieder 45° beträgt. *Schck.*

Die Radiostereoskopie und das Studium des Gefäßsystems.

Von M. d'Halluin. *Journ. de radiogr.* **5.** *1911.*

Die vorliegende Arbeit eines Mediziners hat für die Leser dieser Zeitschrift insofern ein gewisses Interesse, als wieder einmal ein Versuch mit der stereoskopischen Buchillustration gemacht wird. Der Verf. wählt dazu die bekannte Anaglyphenmethode nach L. Ducos du Hauron, die sich aus dem 1853 von W. Rollmann vorgeschlagenen Absorptionsverfahren ableiten läßt. Die beiden stereoskopischen Halbbilder, die durch eine Verschiebung der Strahlungsquelle vor dem Objekt erhalten sind, werden zur Herstellung von zwei Autotypien verwandt, die mit den bekannten Farben rot und grün übereinander gedruckt werden. Der Arbeit sind drei Mustertafeln beigegeben worden, aus denen der Lehrwert dieser Methode deutlich hervorgeht. Es handelt sich um anatomische Präparate, die den Verlauf der großen Blutgefäße zeigen. Das läßt sich dadurch erreichen, daß man in die Adern des Präparats eine Masse einspritzt, die aus einer Lösung von Zinnober in Terpentin besteht. Der stereoskopische Effekt ist sehr befriedigend, obwohl in dem beigegebenen Modell der zweifarbigen Brille das Grün der Druckfarbe nicht vollkommen durch das grüne Zelluloidscheibchen hindurchgelassen wird.

Aus der Darstellung des Verf. ist die Schwierigkeit zu erkennen, die sich ihm bei der Aufsuchung der Quellen fühlbar gemacht hat; es finden sich aber auch einige Angaben, die zur Begründung der Prioritätsansprüche einiger französischer Forscher hinsichtlich der Radiostereoskopie beizutragen vermögen. *M. von Rohr.*

Tafeln für harmonische Analyse.

Von R. Beattie. *The Electrician* **67.** *S. 326 u. 370. 1911.*

Die Koeffizienten einer Fourierschen Reihe

$$y = A_0 + \Sigma A_k \sin k\alpha + \Sigma B_k \cos k\alpha$$

werden bekanntlich nach den Formeln

$$A_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} y\,d\alpha$$

$$\left.\begin{aligned} A_k &= \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} y \sin k\alpha\,d\alpha \\ B_k &= \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} y \cos k\alpha\,d\alpha \end{aligned}\right| \quad k = 1, 2 \ldots$$

berechnet. Näherungsformeln erhält man, wenn man auf der Abszissenachse die Periode 2π in m gleiche Teile teilt und im Mittelpunkt jeder Teilstrecke die zugehörigen Ordinaten $y_1, y_2 \ldots, y_m$ abgreift.

Die angenäherten Formeln lauten dann

$$A_0 = \frac{1}{m}(y_1 + y_2 + \ldots + y_m)$$

$$A_k = \frac{2}{m}(y_1 \sin k\alpha_1 + y_2 \sin k\alpha_2 + \ldots + y_m \sin k\alpha_m)$$

$$B_k = \frac{2}{m}(y_1 \cos k\alpha_1 + y_2 \sin k\alpha_2 + \ldots + y_m \cos k\alpha_m).$$

Zur praktischen Ausführung der Rechnung zeichnet Beattie zunächst m einander gleiche Maßstäbe nebeneinander; ferner zeichnet er die zu analysierende Kurve auf Pauspapier mit einem solchen Abszissenmaßstab, daß der Abstand $K_1 K_3$ der Maßstabkarte (Fig. 1) gleich einer Periode der Kurve wird. Dann können die Ordinaten leicht abgelesen werden;

daraus wird durch Addition A_0 gefunden. Um die Koeffizienten A_k, B_k zu berechnen, werden andere Maßstabskarten benutzt, und zwar für jedes Koeffizientenpaar eine besondere Karte. Die Maßstäbe dieser Karten werden unter Zugrundelegung der Einheiten $1/\sin k\alpha$ bezw. $1/\cos k\alpha$ entworfen, sodaß man an ihnen direkt die Größen $y \sin k\alpha$ bezw. $y \cos k\alpha$ abliest.

Sei z. B. $m = 12$, so ist $360:12 = 30^0$. Die Mittelpunkte der Teilstrecken liegen also bei 15^0, 45^0, 75^0... Demnach sind zur Ermittlung von A_5 12 Maßstäbe zu zeichnen, denen

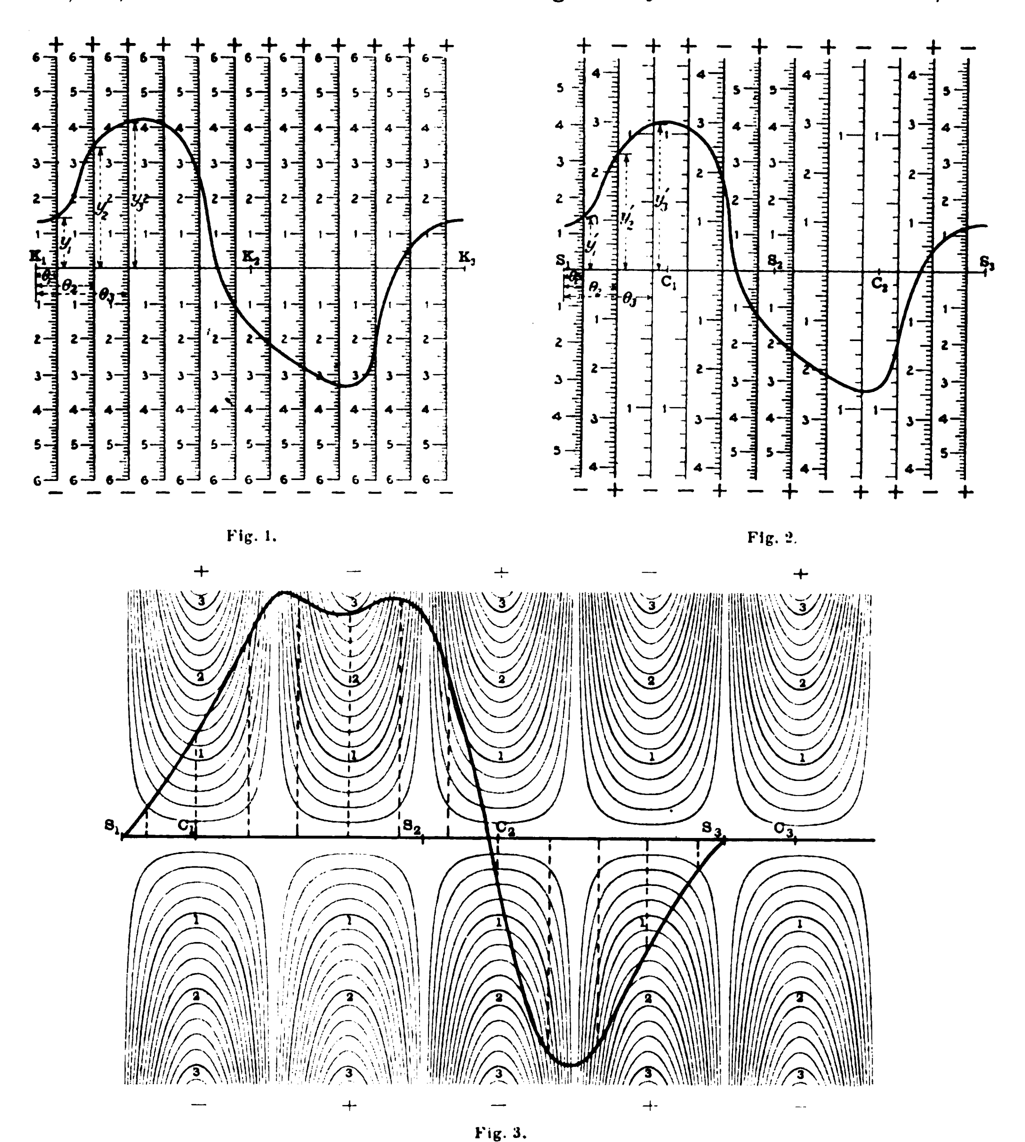


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 3.

folgende Einheiten zugrunde liegen: $1/\sin(5 \cdot 15^0)$, $1/\sin(5 \cdot 45^0)$, $1/\sin(5 \cdot 75^0)$... Zur Ermittlung von A_5 legt man die auf Pauspapier gezeichnete Kurve auf die Karte für die fünfte Oberwelle (Fig. 2), sodaß S_1 und S_3 mit Anfang und Ende der Periode zusammenfallen, und liest an den Maßstäben die Ordinaten y_1', y_2', ... y_{12}' ab; dann ist

$$A_5 = \frac{1}{12}(y_1' + y_2' + \ldots + y_{12}').$$

Es ist leicht zu übersehen, daß die Karte für B_5 dieselben Maßstäbe, und zwar auch in derselben Reihenfolge, enthält, aber mit einem anderen Anfangspunkt; man kann daher

dieselbe Karte wie die für A_5 benutzen, nur daß man den Anfang der Periode auf Punkt C_1 legt. Die Rechnungen sind auf einfache Additionen beschränkt.

Eine Vereinfachung der Analyse tritt ein, wenn die Kurven oberhalb und unterhalb der Abszissenachse spiegelbildlich gleich sind. Man braucht dann nämlich nur die Ablesungen an einer Kurven-*Hälfte* zu machen. Diese wird auf die Strecken $S_1 S_2$ für A bezw. $C_1 C_2$ für B (Fig. 2) gelegt.

Ein Satz Karten der bisher beschriebenen Art setzt immer eine ganz bestimmte Teilung der Abszissenachse (z. B. $m = 12$) voraus. Man kann die Karten allgemeiner gestalten, indem man für jede Oberwelle Kurven $y =$ konst./sin $k\alpha$ zeichnet; erteilt man z. B. für die zweite Oberwelle den Konstanten nacheinander die Werte 0,2, 0,4 ..., so erhält man eine Kurvenschar (Fig. 3). Diese Kurven können für jede beliebige Teilung der zu analysierenden Kurve benutzt werden. Man teilt die Abszissenachse in m Teile, legt die Mittelpunkte der ersten und letzten Teilstrecke auf die Punkte S_1 und S_2 der Karte und liest zur Ermittlung von A an den m Ordinaten den Wert der zugehörigen Konstante der Kurvenschar ab. Zur Ermittlung von B sind die Enden der Periode auf die Punkte $C_1 C_2$ zu legen. Die Anwendung dieser Methode ist zwar allgemeiner als die erst beschriebene, sie ist aber auch nicht mehr so einfach zu handhaben. *E. O.*

Bücherbesprechungen.

E. Abbe, Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop. Bearb. u. hrsg. von O. Lummer und Fr. Reiche. 8°. XII, 108 S. m. 57 Fig. u. e. Bildnis Ernst Abbes. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn 1910. Geb. in Leinw. 6 M.

Die Herausgeber haben es in dankenswerter Weise unternommen, die analytische Entwicklung der Abbeschen Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop zu veröffentlichen. Waren auch die Resultate dieser Entwicklung von Abbe längst bekannt und angewandt, so war doch bisher diese analytische Entwicklung nirgends mitgeteilt worden. Der eine der Herausgeber, O. Lummer, der mit einigen Wenigen im Winter 1887 eine Vorlesung Abbes, in der diese Lehre entwickelt wurde, gehört hat, entschloß sich daher zu einer Veröffentlichung dieser Abbeschen Vorträge und hat, im Verein mit Fr. Reiche, die von Abbe gegebene Entwicklung erweitert und vertieft. Während Abbe den Ausdruck für die Lichterregung im sekundären Bilde aus dem Fresnel-Huygensschen Prinzip herleitet, benutzen die Herausgeber auch das Kirchhoffsche Prinzip in Verbindung mit den Gleichungen der Maxwellschen Lichttheorie. Es zeigt sich, daß man auf diesem zweiten Wege bei Beschränkung auf kleine Konvergenzwinkel im Bildraume ebenfalls den Abbeschen Ausdruck erhält.

Der Inhalt im einzelnen ist folgender. In einer kurzen Einleitung wird auf die Notwendigkeit einer Ergänzung der aus der geometrischen Optik gezogenen Folgerungen durch die Wellentheorie hingewiesen. Im ersten Kapitel (*S. 3—14*) werden die zum Verständnis des Folgenden nötigen Begriffe aus der geometrischen Optik erläutert: Konstruktion des durch eine Kugelfläche gebrochenen Strahles, Abbildung eines beliebigen leuchtenden Achsenpunktes bezw. eines achsensenkrechten Objektes, Abbildung durch ein zentriertes System brechender Kugelflächen, Abbesche Abbildungsgleichungen, Abbildung durch weitgeöffnete Büschel (Sinusbedingung).

Im zweiten Kapitel (*S. 14—43*) wird die Abbildung selbstleuchtender Objekte im Sinne der Wellenlehre behandelt. Zunächst wird die Literatur für diejenigen Fälle angegeben, in denen eine strenge Berechnung der Beugungserscheinung auf Grund der Maxwellschen Lichttheorie gelungen ist. Den folgenden Entwicklungen liegt das Kirchhoffsche Prinzip zugrunde. Dasselbe wird zuerst auf den Fall der ungestörten Ausbreitung des Lichtes von einem Punkte aus angewandt, nachher auf den Fall einer ebenen, senkrecht zu einem Schirm (mit beugender Öffnung) einfallenden Welle. Der hierbei gefundene Ausdruck wird mit dem aus dem Fresnel-Huygensschen Prinzip folgenden Ansatze verglichen. Nach Ableitung

des Ausdruckes für die Lichterregung im Aufpunkt für die Fraunhofersche Beugungserscheinung wird der Fall behandelt, daß leuchtender Punkt und Aufpunkt in einem beliebigen, jedoch in bezug auf das abbildende System konjugierten Ebenenpaar liegen; in beiden Fällen verschwinden im Ausdruck für die Phase die quadratischen Glieder in den Koordinaten ξ, η des Elementes der Zwischenfläche; als ξ-Achse ist hierbei eine zur Einfallsrichtung parallele Gerade (im ersten Fall) bezw. die optische Achse des abbildenden Systems gewählt. Die unter dem Integralzeichen auftretenden Faktoren, welche dem Einfluß des Ausstrahlungswinkels, der Änderung der Amplitude beim Durchgang durch das abbildende System, sowie der Neigung der interferierenden Elementarstrahlen gegen die optische Achse Rechnung tragen, werden unter der Voraussetzung, daß die Sinusbedingung erfüllt ist, auf Grund energetischer Betrachtungen sowie des Satzes von der Umkehrbarkeit der Lichtwege bestimmt. Man erhält so den Ausdruck für die Lichterregung im Aufpunkte als Integral über eine Kugel als Zwischenfläche. Als solche Zwischenfläche wird entweder eine Kugel mit dem leuchtenden Punkt als Mittelpunkt oder mit dessen Bild als Mittelpunkt gewählt; im ersteren Falle ist die Integrationsgrenze gegeben durch die Projektion des sogenannten wirksamen Stückes dieser Fläche auf die $\xi\eta$-Ebene. Man erhält dieses, indem man die Schnittfigur mit dem vom leuchtenden Punkt (oder Flächenelement) nach den Randpunkten der Eintrittspupille zielenden Kegel bestimmt. Den gleichen Ausdruck für die Lichterregung im Aufpunkt erhält man, wenn man die an einer Stelle der Zwischenfläche vorhandene Intensität ausdrückt durch den Mittelwert des Quadrats der von einem rotierenden Dipol dort erzeugten elektrischen Kraft; auf die Funktion, welche letztere darstellt, wird dann der Kirchhoffsche Satz angewandt. Am Schluß des zweiten Kapitels wird die Beugungserscheinung für den Fall berechnet, daß die vorhin erwähnte Projektion ein Rechteck ist.

Das dritte Kapitel (*S. 43—96*) enthält die Abbildung nichtselbstleuchtender Objekte. Sind mehrere leuchtende Punkte, von denen inkohärente Wellenzüge ausgehen (also selbstleuchtende Punkte), vorhanden, dann findet man die resultierende Intensität im Aufpunkt durch Addition der Einzelintensitäten, ebenso bei mehreren selbstleuchtenden Flächenelementen. Sind dagegen die betrachteten Punkte bezw. Flächenelemente keine Selbstleuchter, so hat man zuerst den resultierenden Lichtvektor im Aufpunkt durch Addition der einzelnen Vektoren zu bilden und aus diesem resultierenden Vektor die Intensität. Der am Schluß des zweiten Kapitels bei Vorhandensein eines leuchtenden Flächenelementes abgeleitete Ausdruck für die Lichterregung im Aufpunkt wird nunmehr als Grundlage benutzt bei Behandlung folgender Fälle: a) Leuchtender Spalt mit relativ kleiner Breite; b) zwei parallele, nebeneinander liegende unendlich schmale Spalte; c) ein Spalt von endlicher Breite; d) Spalt von endlicher Breite, dessen beide Hälften gegeneinander eine konstante Phasendifferenz besitzen. Bei a), b), c) werden jedesmal die beiden Fälle behandelt: 1. Belegung des Spaltes mit selbstleuchtenden Flächenelementen; 2. mit nichtselbstleuchtenden Flächenelementen. Für den Fall 2 wird bei b) und c) zunächst eine senkrecht einfallende zur Spaltbeleuchtung dienende ebene Welle und dann ein von Null verschiedener Einfallswinkel dieser Welle angenommen. In all diesen Fällen werden die Amplituden- und Intensitätskurven sehr anschaulich diskutiert und durch Behandlung mehrerer Sonderfälle und Zahlenbeispiele erläutert. Sodann wird (*S. 87*) darauf hingewiesen, daß man bei Berechnung der Lichterregung im Aufpunkt auch zuerst die Integration über das Objekt und dann die Integration über das wirksame Stück der Zwischenfläche vornehmen kann; letztere Integration dient also nur dazu, für einen Punkt der Aufebene (Objekt- bezw. Bildebene) die Interferenzwirkung der in der Zwischenfläche entstandenen Beugungsspektren zu berechnen. Im Anschluß hieran wird durch Einführung eines physikalischen und eines imaginären Integrationsgebietes ein Satz über die Ähnlichkeit bezw. Unähnlichkeit einer Abbildung abgeleitet; ferner wird hier auf die Bedeutung des Begriffes der numerischen Apertur hingewiesen.

Das vierte Kapitel (*S. 97—106*) behandelt die Abbildung eines Gitters bei künstlicher Begrenzung und enthält die Hauptresultate einer auf Veranlassung der Herausgeber ausgeführten Doktordissertation von M. Wolfke (auszugsweise veröffentlicht in den *Ann. d.*

Physik **34.** *S. 277—310. 1911*). Es wird nur ein durch eine senkrecht auffallende ebene Welle beleuchtetes Gitter behandelt, dagegen nicht der Fall eines selbstleuchtenden Gitters. Die Berechnungen knüpfen an den *S. 87* gegebenen Ausdruck für die Lichterregung an. Die so für die Intensität erhaltene Funktion wird für mehrere Spezialfälle diskutiert, die man dadurch erhält, daß man aus dem Beugungsbilde des Gitters bestimmte Teile herausblendet und nur die übrigen zur Interferenz gelangen läßt. Es werden drei Fälle behandelt: 1. Nur das Zentralbild gelangt zur Wirkung; 2. außer dem Zentralbild gelangen die ersten Maxima rechts und links zur Wirkung; 3. nur die beiderseitigen i-ten Maxima tragen zur Abbildung bei, während das Zentralbild abgeblendet ist. In diesen drei Fällen erhält man eine Bestätigung und Ergänzung der Abbeschen Theorie. Ein Literaturverzeichnis zur Theorie der Abbildung nichtselbstleuchtender Objekte beschließt das Ganze. *Dr. H. Erfle in Jena.*

Neu erschienene Bücher.

E. Hammer, Lehrbuch der elementaren praktischen Geometrie (Vermessungskunde). In 2 Bdn. I. Bd.: Feldmessen und Nivellieren; Lehrbuch der Vermessungskunde, besonders f. Bauingenieure. gr. 8°. XIX, 766 S. m. 500 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1911. 22 M.; geb. in Leinw. 24 M.

Kühtmanns Rechentafeln. Ein handl. Zahlenwerk m. 2 Millionen Lösgn., die alles Multiplizieren u. Dividieren ersparen u. selbst die größten Rechngn. dieser Art in wenigen Additions- u. Subtraktionszahlen auflösen. Nebst Taf. der Quadrat- u. Kubikzahlen von 1—1000. gr. 8°. 476 S. Dresden, G. Kühtmann 1911. Geb. in Leinw. 18 M.

J. W. N. Le Heux, Lissajoussche Stimmgabelkurven in stereoskopischer Darstellung. kl. 8°. 18 Taf. m. 8 S. Text. Leipzig, J. A. Barth 1911. In Halbleinw.-Mappe 6 M.

W. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. In 2 Bdn. II. Bd., 2. Tl: Verwandtschaftslehre. 2., umgearb. Aufl., 3. Abdr. gr. 8°. XI, 1188 S. m. 389 Fig. Leipzig, W. Engelmann 1911. 29 M.; geb. in Halbfrz. 32 M.

F. W. Lanchester, Aerodynamik. Ein Gesamtwerk über das Fliegen. Aus dem Englischen übers. v. C. u. A. Runge. gr. 8°. Leipzig, B. G. Teubner.

II. Bd. Aerodonetik. Mit Anhang üb. d. Theorie u. Anwendg. des Gyroskops, üb. d. Flug der Geschosse u. s. w. XIV, 327 S. m. 208 Fig. u. 2 Taf. 1911. Geb. in Leinw. 12 M.

Die Wissenschaft. Sammlung naturwissenschaftl. u. mathemat. Monographien. 8°. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.

38. M. Laue, Das Relativitätsprinzip. X, 208 S. m. 14 Fig. 1911. 6,50 M; geb. 7,20 M. — 39. A. Müller, Das Problem des absoluten Raumes. X, 154 S. 1911. 4 M.

Frdr. Emich, Lehrbuch der Mikrochemie. gr. 8°. XIII. 212 S. m. 30 Abbildgn. Wiesbaden, J. F. Bergmann 1911. 6,65 M.

Verhandlungen der vom 21.—29. IX. 1909 in London u. Cambridge abgeh. 16. allgemeinen Konferenz der internationalen Erdmessung. Red. v. ständ. Sekretär H. G. van de Sande-Bakhuyzen. 2. Tl.: Spezialberichte u. Berichte üb. die Tätigkeit des Zentralbureaus in den J. 1908, 1909 u. 1910. Mit 17 lith. Taf. u. Karten. — *Comptes rendus des séances de la 16. conférence générale de l'association géodésique internationale, réunie à Londres et à Cambridge du 21.—29. IX. 1909. 2. vol.* Lex. 8°. 386 S. Berlin, G. Reimer 1911. 6 M.

C. Bach, Elastizität und Festigkeit. Die für die Technik wichtigsten Sätze u. deren erfahrungsmäßige Grundlage. 6., vermehrte Auflage. gr. 8°. XXIV, 642 S. m. 20 Taf. u. Fig. Berlin, Julius Springer 1911. Geb. in Leinw. 20 M.

C. Dorno, Studie über Licht und Luft des Hochgebirges. gr. 4°. 153 S. m. 75 Tabellen u. 30 Fig. Braunschweig 1911. Kart. 20 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **F. R. Helmert**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Raps**, geschäftsführendes Mitglied,
Dr. **H. Krüss**, Prof. Dr. **R. Straubel**.

Redaktion: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XXXI. Jahrgang. **Dezember 1911.** Zwölftes Heft.

An unsere Leser!

Der beklagenswerte, frühzeitige Tod unseres langjährigen, treubewährten Redakteurs, Geh. Regierungsrats Professor Dr. Lindeck, hat uns vor die Notwendigkeit gestellt, die Herausgabe der Zeitschrift anderen Händen anzuvertrauen.

Unsere Wahl ist im Einverständnis mit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und mit der Verlagshandlung auf Herrn

Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin, Guericke-Straße 26,

gefallen. Derselbe hat am 11. November d. J. die verantwortliche Leitung der Redaktion übernommen.

Herr Dr. Göpel erschien uns als Mitglied und Werkstattvorsteher der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, als stellvertretender Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik, als derzeitiger Vorsitzender der Fraunhofer-stiftung und als langjähriger Mitarbeiter unserer Zeitschrift besonders geeignet, alle die Beziehungen weiter zu pflegen, welche der Zeitschrift unter der Leitung ihrer bisherigen Redakteure im wesentlichen zu hoher Blüte verholfen haben.

Dem Reichsamt des Innern und der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt sprechen wir unseren Dank aus für die Bereitwilligkeit, mit welcher sie Herrn Dr. Göpel die Übernahme der Redaktionsgeschäfte gestattet haben.

An die Gönner, Mitarbeiter und Leser unserer Zeitschrift wie an ihren Verlag richten wir die Bitte, ihr tatkräftiges Wohlwollen und ihr lebhaftes Interesse für die Zeitschrift für Instrumentenkunde zugunsten ihrer weiteren glücklichen Entwicklung auch fernerhin betätigen zu wollen.

Für die Herausgeber:

Das Redaktionskuratorium.

Neue Halbring-Elektromagnete.

Von
H. du Bois in Berlin.
(Mitteilung aus dem Bosscha-Laboratorium.)

Bald nach Örsteds Entdeckung (1820) wurde von Sturgeon ein Elektromagnet beschrieben (1825), welcher sich der üblichen Gestalt der Stahlmagnete, dem Hufeisen oder vielmehr der Gabelform, folgerichtig anpaßte. Diesem Typus mit zwei parallelen, bewickelten Holmen gehörten dann auch die bekannteren Apparate an, welche Faraday (1845) und Tyndall, Plücker (1847), Edm. Becquerel (1848), v. Feilitzsch und Holtz (1880) bei ihren Untersuchungen benutzten. Später wurden schwere aufrechte Magnete u. a. noch verwendet von Salomons (1896, 650 *kg*) und Brace (1897, 2000 *kg*); quantitative Angaben hierüber fehlen. Indessen wird man heute diese Anordnung kaum für eine glückliche halten; auch hatten jene Apparate fast immer zu wenig Amperewindungen, von anderen Fehlern ganz abgesehen[1]).

Von Blythswood und Marchant wurden bewickelte Holme als gleichseitiges Dreieck angeordnet derart, daß die den Polschuhen benachbarten einen Winkel von 60° bildeten; ein schwerer Apparat dieses Typus ergab für einen Luftschlitz von 12 *mm* Durchmesser und 1 *mm* Länge (abgekürzt 12×1 *mm*) 40 Kilogauß[2]). Ein ähnliches Modell, bei dem jener Winkel 45° beträgt und die überflüssige Bewicklung des Basisholms fehlt, wird neuerdings von der Firma Hans Boas in Berlin fabriziert.

Bereits im Jahre 1846 war der treffliche Konstrukteur Rühmkorff empirisch zu seiner bewährten Anordnung mit gegenüberstehenden „Polspulen" gelangt; ihre theoretischen Vorzüge wurden alsbald von Biot hervorgehoben, welcher schon darauf hinwies, daß der günstigste Winkel der Kegelstutzpole noch zu bestimmen sei; dies geschah in erster Annäherung erst durch Stefan (1889). Das bei vielen älteren Apparaten zu schwache Joch wurde dann später von Ewing und Low, Gray und Stewart ebenfalls als bewickelter Holm ausgebildet. Dasselbe tat Weiß bei seinen ersten Apparaten, unterließ es aber später wieder als überflüssig; sein bekannter Riesenmagnet ergibt bei 3,6 × 2 *mm* 46 Kilogauß; er wiegt 1300 *kg* und verbraucht höchstens 18 Kilowatt, für manche Laboratorien eine etwas schwer aufzubringende Leistung; der lange Lichtweg von etwa 125 *cm* kann bei magnetooptischen Arbeiten unbequem werden. Die theoretischen und konstruktiven Grundlagen des Weißschen Elektromagnets bieten großes Interesse[3]).

Zur Prüfung meiner Theorie des geschlitzten Toroids in größerem Maßstabe, als es seinerzeit durch H. Lehmann geschehen war, entwarf ich im Jahre 1891 einen größeren Vollring-Elektromagnet (275 *kg*, 5 Kilowatt), welcher das Prototyp einer Reihe ähnlicher Apparate bildet. Eben wegen seiner Eigenschaft als theoretisches

---

[1]) Siehe S. P. Thompson, „*The Electromagnet*". London, E. F. N. Spon 1892. *S. 28 u. folg.*; vgl. auch die deutsche Übersetzung von C. Grawinkel. Halle a. S., W. Knapp 1894; Sir D. Salomons, *Phil. Mag.* **42.** *S. 248. 1896*: D. B. Brace, *Phil. Mag.* **44.** *S. 342. 1897.*

[2]) Lord Blythswood u. E. W. Marchant, *Phil. Mag.* **49.** *S. 393. 1900.*

[3]) H. D. Rühmkorff, *Compt. rend.* **23.** *S. 417. 1846*; J. B. Biot, *Compt. rend.* **23.** *S. 538. 1846*; *Ann. de chim. et de phys.* **18.** *S. 318. 1846*; J. A. Ewing u. W. Low, *Proc. Roy. Soc. London* **42.** *S. 200. 1887*; **45.** *S. 40. 1888*; A. Gray u. W. Stewart, *Nature* **65.** *S. 54. 1901*; *Proc. Roy. Soc. London* **72.** *S. 16. 1903*, wo indessen genauere Angaben fehlen; P. Weiß, *L'Éclair. électr.* **15.** *S. 481. 1898*; *Journ. d. phys.* **6.** *S. 353. 1907*; Referat in *dieser Zeitschr.* **28.** *S. 31. 1908*; G. Zindel, *Elektrotechn. Zeitschr.* **30.** *S. 447. 1909.*

Versuchsobjekt mußten hier die zwölf Sektorspulen ziemlich gleichmäßig längs des ganzen Umfangs verteilt werden, wenngleich es sich von vornherein ergab, daß im Sättigungsgebiet die Wicklung praktisch an Wirkung einbüßte, je weiter sie von den Polen abrückte. Bei reinen Gebrauchsapparaten ist dies mithin konstruktiv zu berücksichtigen. Nach der Einführung magnetisch brauchbaren Stahlgusses konnte der Vollring daher (1898) zu dem in mancher Hinsicht handlicheren Halbring-Elektromagnet (175 *kg*, 2,5 Kilowatt) umgeformt werden, von dem dann viele Exemplare ihren Weg in die Laboratorien fanden. Bei einem Normalluftschlitz 6×1 *mm* geben sie ein Feld von 38 bis 40, im Durchschnitt über 39 Kilogauß; diese individuellen Abweichungen von 5% sind durch die wechselnden Eigenschaften des Stahlgusses bedingt, der leider auch sonst noch mit vielen technischen Fehlern — wie Blasen, Krusten, Schlacken u. dgl. — behaftet ist. Eine amerikanische Nachahmung dieses Typus soll bei 160 *kg* Gewicht für 10×1 *mm* 50 Kilogauß geben, nach einer zwar recht optimistischen „Schätzung", die indessen durch Messungen nicht erhärtet wurde! Andere Ringmagnete wurden u. a. von Beattie und Apt beschrieben[1]).

Wie bei jeder Apparatur bedurfte es auch hier nach einem Jahrzehnt auf Grund weiterer Erfahrungen und Ansprüche wieder einer praktischen Revision unter Beibehaltung der bewährten konstruktiven Grundsätze; dabei sollten namentlich auch die Bedürfnisse der sehr erweiterten neueren Magnetooptik Berücksichtigung finden, insbesondere der Zeeman-Effekt mit seinen Begleiterscheinungen; dazu gehört ein möglichst kurzer Lichtweg durch den Magnet. Für das zu erreichende Feld im Normalluftschlitz war 50 Kilogauß in Aussicht genommen; infolge einer Reihe von Einzelverbesserungen lieferte denn auch schon der erste große Probemagnet fast diesen Wert, ohne ein Gesamtgewicht von 350 *kg*, über drei Einzelteile verteilt, zu überschreiten[2]); dabei blieb er noch bequem hantierbar. Die Streuung ist bei dem Vollring *cet. par.* am geringsten; ihre Nachteile sind in Laboratorien nicht zu unterschätzen; beeinflußt doch ein kräftiger Elektromagnet bereits eine Bogenlampe auf mehrere Meter Entfernung, geschweige denn die empfindlicheren Instrumente. Seither wurden dann drei Modelle in allen Einzelheiten durchgebildet und erprobt, womit nun bis auf weiteres ein Abschluß erreicht ist.

I. Beschreibung.

Grofses Modell. Fig. 1 stellt dieses in etwa $^1/_{10}$ nat. Größe dar. Die Grundplatte ruht auf einem breiten Kugellager, welches mit einem Teilkreis versehen ist[3]), wie es für verschiedene neuere Methoden gefordert wird. Ein Zentralzapfen mit Muttergewinde durchsetzt die Platte, sodaß darauf geschraubte Träger, Schlitten u. dgl. an der Bewegung des Magnets um die Vertikalachse unbeteiligt bleiben; wird dagegen deren Mitdrehung erfordert, so sind sie in die anderen, in je 100 *mm* Abstand in die Grundplatte selbst eingebohrten Gewinde zu schrauben. Diese dienen auch

[1]) H. du Bois, *Verhandl. d. phys. Gesellsch. zu Berlin* **11.** *S. 54. 1892;* **13.** *S. 34. 1894; Wied. Ann.* **51.** *S. 537. 1894*; G. Wiedemann, „Die Lehre von der Elektrizität". 2. Aufl. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn. *Bd.* **3.** *S. 905. 1895*; E. Taylor Jones, *Wied. Ann.* **57.** *S. 273. 1896*; H. du Bois, *Verhandl. d. phys. Gesellsch. zu Berlin* **17.** *S. 99. 1898; diese Zeitschr.* **19.** *S. 357. 1899; Ann. d. Physik* **1.** *S. 199. 1900*; J. C. Beattie, *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **104.** *S. 656. 1895*; R. Apt, *Schrift. naturw. Vereins Schleswig-Holstein* **11.** *S. 104. 1898.*

[2]) H. du Bois, *Versl. Akad. Wet. Amsterdam* **18.** *S. 118. 1909;* **19.** *S. 397. 1910; Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **11.** *S. 709. 1909.*

[3]) Nach A. Righi, *Mem. Accad. Bologna* **8.** *S. 277. 1899.*

zum Aufbau irgend eines Universalstativs; ferner ist ein Galgen vorgesehen, an dem allerlei Hilfsapparate sowie Gehänge für dia- oder paramagnetische Versuche befestigt werden. Das Kugellager kann mit drei Stellschrauben versehen werden; die Aufstellung ist indessen stabiler, wenn die Grundplatte direkt, wie abgebildet, mittels dreier Fußschrauben auf Teller gestellt wird. Da der Magnet auf einem kräftigen Tisch zu benutzen ist, erscheinen Laufrollen im allgemeinen weniger angebracht. Die beiden seitlichen Stellschrauben werden bei der zuweilen erwünschten vertikalen Stellung der Magnetachse benutzt, wobei als dritter Fuß ein verlängertes Kernstück in die Bohrung einzusetzen ist (Fig. 3). Im Interesse größerer Vielseitigkeit und Bequemlichkeit der Verwendung erfolgt auch hier die Trennung des magnetischen Kreises durch die horizontale Oberfläche der Grundplatte, auf welcher eine zöllige

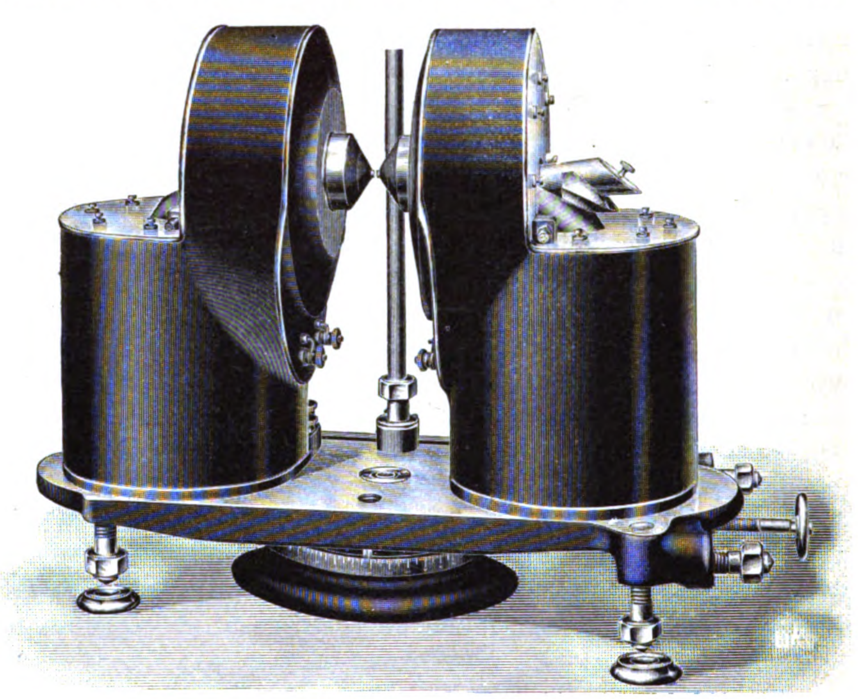


Fig. 1 (etwa 1/10 nat. Gr.).

Holzplatte mittels Bolzen oder dgl. als Tischfläche befestigt werden kann. Auf ihr sind ferner die Holme drehbar und verschiebbar angeordnet, wobei die Führungsschiene und das Handrad die Verschiebung des einen Holms richten bezw. regulieren. Jeder Stahlgußkern bildet wie bisher ungefähr einen Drittelring, der nach unten in eine angegossene aufliegende Fußflansche ausläuft.

Viele im hiesigen Laboratorium ausgeführte magnetooptische Untersuchungen gipfelten in der Forderung größter Lichtstärke, die nur durch Konzentrierung des Strahlenbüschels behufs Erzeugung eines Spaltbildes im Interpolarraum zu erreichen ist; es bildet dann einen stark divergierenden Doppelkegel. Die Bohrung soll sich den Strahlen anschmiegen, und da ihre lichte Weite naturgemäß eine beschränkte ist, wird dadurch schon ein kurzer Strahlengang im Stahlguß bedingt. Es werden demgemäß kurze konische Bohrungen[1]) im Winkel 1 : 5 angebracht; einer der genau

[1]) Zuerst angegeben beim sogen. „Submagnet“ von J. Kerr, *Phil. Mag.* **3.** *S. 339. 1877.* Falls magnetooptische Verwendung nicht in Frage steht, können diese Einrichtungen ganz fortfallen.

passenden, bei nicht optischen Versuchen zu verwendenden massiven Kegelkerne ist in Fig. 1 rechts sichtbar. Dort ist auch die eigenartige, zur Bohrung zentrische Ausfräsung und die rechtwinklige Aussparung des Wicklungsraums ersichtlich, innerhalb deren optische und andere Hilfsvorrichtungen unmittelbar an die Mündung der Ausbohrung herangebracht werden können, so z. B. die kürzlich beschriebenen Monochromatoren[1]). Bei Nichtbenutzung erhält die Ausfräsung das abgebildete Füllstück.

Die oberen Holmkerne sind mit einem Spülrohr umgeben; 50 Liter Wasser stündlich ergeben eine genügende Kühlwirkung. Außerdem kann für besondere Zwecke innerhalb der Bohrungen leicht eine Innenspülung angebracht werden; die Kühlung der Polschuhe bezw. der Stirnflanschen durch sich anschmiegende Metallrohrspiralen — unter Zwischenlage von Stanniol — hat sich gut bewährt, ähnlich wie solche klinisch zum Kühlen von Körperteilen benutzt werden. Von einer Umspülung der Drahtwindungen selbst durch Ölzirkulation wurde der Umstände und Kosten halber im allgemeinen abgesehen. Am besten wäre irgend eine Art Luftkühlung.

Bei den ersten Halbring-Magneten wurden noch acht einzelne Sektorspulen aufgeschoben; später wurde der verfügbare Raum vollgewickelt. Die Wickeltechnik ermöglicht es nunmehr, dem Wicklungsraum die regelmäßigere Außenform zu verleihen, welche Fig. 1 und 3 zeigen. Er zerfällt so naturgemäß in zwei Abteile, Polwindungen und Holmwindungen enthaltend, welche mit besonderen Klemmen versehen sind. Die rechtwinkligen Rückflanschen sowie die schwach konisch abgestutzten Stirnflanschen sind mit sogen. Spannaugen versehen, an welche Träger, Tischchen und sonst allerlei Hilfsvorrichtungen angeschraubt werden können. Oben auf den Polspulflanschen lassen sich außerdem quadratische, horizontale Spannrahmen aus Winkelmessing befestigen (N in Fig. 4), welche sich zum Anschrauben der oberen Hilfsapparate bequem erweisen.

Fig. 2 (1/10 nat. Gr.

Es können noch zwei Sonderspulen auf die Polschuhe gestülpt werden, sofern dies mit Bezug auf die räumliche Versuchsanordnung tunlich erscheint. Solche Flachspulen sind in Fig. 2 in der Anordnung nach Gaugain-Helmholtz in $^1/_{10}$ nat. Größe abgebildet. Sie können so auch an und für sich ohne Eisenkerne gute Dienste leisten. Zur „Übersättigung" der Polspitzen tragen sie wesentlich bei, wie weiter unten klargelegt wird, und ihre rein elektrodynamische Wirkung superponiert sich dem Felde.

Bei gegebenem Wicklungsraum kann sich die Art der Bewicklung der zu benutzenden Stromquelle anpassen; die Erfahrung mit den verschiedensten Magnettypen führt zur empirischen Regel, daß dabei durchschnittlich jeder Quadratmillimeter Windungsquerschnitt etwa zwei verfügbare Amperewindungen liefern kann. Für gewöhnlich wird die Wicklung derart bemessen, daß jeder Holm bei 18° nicht mehr als 95 Volt Betriebsspannung beansprucht bei 35 bis 40 Ampere Stromstärke. Dann können bei 110 Volt Netzspannung die beiden Holme neben- bezw. bei 220 Volt hintereinandergeschaltet werden, auch wenn ihre Temperatur erheblich höher ist. Übrigens ist der Wattverbrauch bei vorgeschriebener magnetischer Wirkung und gegebenem Wicklungsraum bekanntlich unabhängig von der Art der Bewicklung.

Mittleres Modell. Dieses ist dazu bestimmt, an die Stelle der bisherigen Halbringtype für Laboratorien zu treten. Gewicht und Wattverbrauch sind geringer als

[1]) *Diese Zeitschr.* **31.** *S. 1 u. 79. 1911.*

beim großen Modell — und zwar wiegt die Grundplatte bezw. je ein Holm rund 60 *kg*. Die Konstruktion ist in mancher Beziehung vereinfacht; so sind z. B. Kugellager, Wasserspülung und Verschiebungsschraube im allgemeinen nicht vorgesehen. Fig. 3 stellt dieses Modell mit senkrecht gestellter Feldachse in $^1/_{10}$ nat. Größe dar. Wenn auch die erreichbaren Feldwerte nicht ganz so hoch sind, dürfte es doch für viele Arbeiten bereits genügen. Bei der üblichen Wicklung ist für jeden Holm eine Betriebsspannung von 60 bis 70 Volt, eine Stromstärke von 20 bis 23 Ampere vorgesehen.

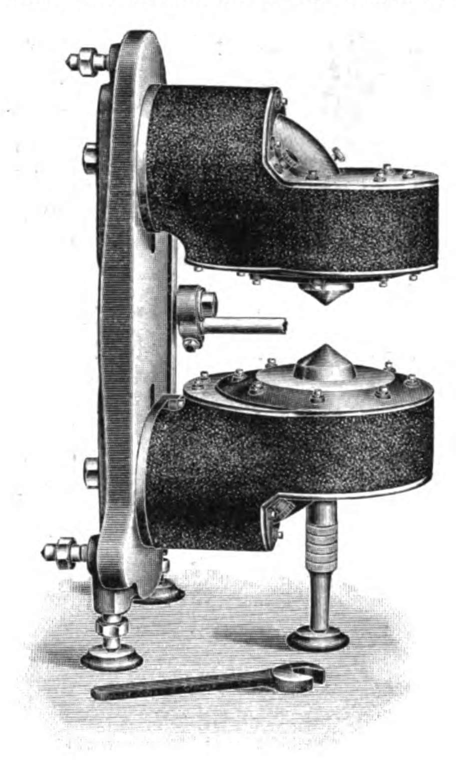


Fig. 3 (etwa $^1/_{10}$ nat. Gr.).

Kleines Modell. Schließlich wurde auch die bisherige kleine Type nach neueren Erfahrungen im einzelnen durchkonstruiert; dieses einfachste Modell ist den obigen ganz ähnlich und eignet sich hauptsächlich für Demonstrations- und Schulzwecke. Die konischen gewulsteten Polspitzen sind hier fest angegossen. Dieser leichte Apparat läßt sich mittels Bolzen oder Klammern in jeder Lage an Mauern, Balken Konsolen u. dgl. befestigen. Die Wicklung wird für gewöhnlich für jeden Holm auf nur 36 Volt und etwa 7,5 Ampere bemessen, sodaß man bei Parallelschaltung mit 18 Akkumulatoren auskommt und auch bereits bei geringerer Spannung einen ziemlichen Sättigungsgrad im Notfall zu erreichen vermag.

Die Sollwerte der wesentlichen Bestimmungsstücke der drei Modelle sind ungefähr wie in Tab. 1 normiert. Die Feldwerte gelten für den Normalluftschlitz (6×1 *mm*) bezw. auch für $3{,}6 \times 0{,}5$ *mm*; die eingeklammerten Zahlen wurden bei Benutzung von Sonderpolspulen erhalten; nähere Angaben werden im letzten Abschnitt mitgeteilt.

Tabelle 1.

Bestimmungsstück		Großes Modell		Mittleres Modell		Kleines Modell	Einheit
Gesamtgewicht	ungefähr	340		190		45	*kg*
Achsenhöhe über Holzplatte		300		200		150	*mm*
Mittlere Achsenhöhe über Grundplatte		325		225		175	"
Achsenhöhe über Unterlage		450		350		250	"
Basisdurchmesser der Polspitzen		43		43		40	"
Basisdurchmesser der Polschuhe		93		80		—	"
Durchmesser der Stirnflanschen		340		280		160	"
Höchstabstand der Stirnflanschen		270		250		100	"
Lichtweg im Einzelholm		160		130		100	"
Gesamt-Kiloamperewindungen	rund	100	[150]	60	[100]	22,5	K.-A.-W.
Elektrische Verbrauchsleistung	rund	6		3		0,50	Kilowatt
Gesamte Stromwärme	rund	1,4		0,7		0,12	Kcal. pro Sek.
Maximalfeld für 6×1 *mm*	rund	45	[50]	43	[47]	35	Kilogauß
Maximalfeld für $3{,}6 \times 0{,}5$ *mm*	rund	50	[55]	47	[52]	40	"

II. Pol-Armaturen.

Die Polschuhe aus bestem, langsam geglühtem, schwedischem Walzeisen werden mittels kurzer, zölliger Gewindezapfen in die Holme eingeschraubt, wozu das Hilfswerkzeug *L* (Fig. 4) dient. Es können Polschuhe jeder gewünschten Gestalt beigegeben werden sowie auch Walzeisen- bezw. Stahlgußstücke mit vorgearbeitetem Paßstück. Die Polschuhe können Stützen zum isolierten Aufstülpen der Sonderpolspulen erhalten. Im allgemeinen sind vorgesehen: Flachpole *A*; Scheibenpole *B*, auch als Zwischenlage verwendbar; Tellerpole *C*; kugelige bezw. zylindrische Schalenpole *D*, *K*; Spitzpole *E*; Kegelstutzschuhe verschiedener Form *F*, *G*, *H*, *J*, welche zunächst den Stirnflächendurchmesser von 93 bezw. 80 *mm* bis auf 43 *mm* reduzieren. Zwischen diesen beiden kleineren Kreisflächen wird nun die eigentliche Interpolararmatur eingesetzt.

In Fig. 5 ist die Anordnung zur Erhaltung stärkster Felder dargestellt, mit Stirnflächen von 3,6 *mm* Durchmesser; die günstigste Gestalt wurde nochmals sorg-

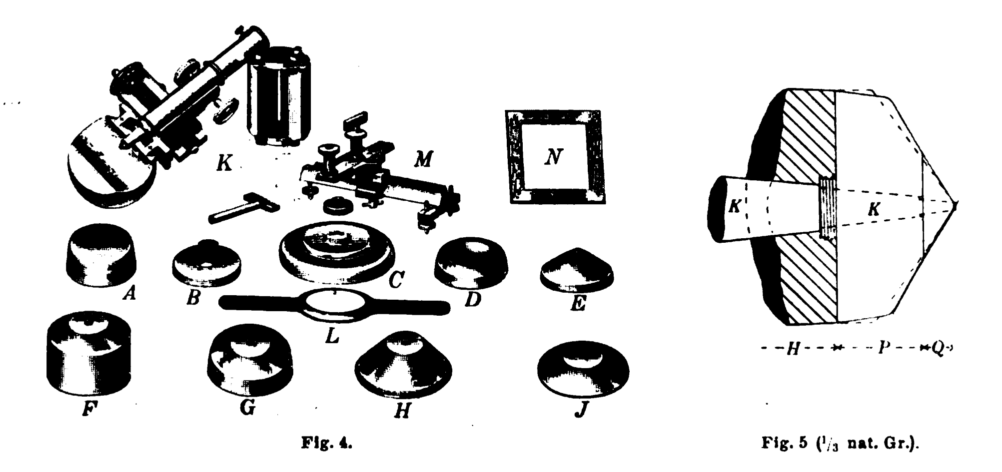


Fig. 4.

Fig. 5 (1/3 nat. Gr.).

fältig bestimmt, wobei Berechnung, Bearbeitung und Messung fortwährend ineinandergriffen. Die Optimumgestalt weicht nur wenig ab von den bisher innegehaltenen Formen. Dagegen stellen die punktierten Linien das theoretische Optimum mit dem halben Kegelwinkel $54^0\ 44'$ dar. Es erwies sich auch jetzt wieder günstig, diesen Winkel von der Mitte nach der Peripherie hin etwas wachsen zu lassen, etwa von 55^0 bis 59^0. Statt durch eine gebrochene Gerade kann dieser Übergang auch durch einen Kreisbogen von 4^0 und passendem Radius vermittelt werden. Auf die genaue Innehaltung einer bestimmten Linie kommt es indessen weniger an; da es sich immer nur um „flache" Maximalwerte handelt, verbleibt dem Konstrukteur ein gewisser Spielraum. In die konischen Bohrungen des Holms *H*, Polschuhs *P* und der Polspitze *Q* passen entsprechende massive Füllkerne *K*; bei geringem Polabstand empfiehlt es sich, die Stirnflächen um $^1/_{10}$ bis $^1/_{15}$ des Durchmessers hervortreten zu lassen, sodaß sie einen flachen Isthmusansatz bilden. Bei den meisten magnetooptischen Versuchen sind geschlitzte Eisenkerne (*A* in Fig. 6) statt massiver (*B*) zu empfehlen, weil die runden Bohrungen das Feld zu sehr verzerren und schwächen; darauf wurde übrigens bereits im Jahre 1899 hingewiesen.

In Fig. 6 sind eine größere Auswahl von Polspitzen sowie Interpolararmaturen für verschiedene Zwecke abgebildet. So ist z. B. *F* für die Isthmusmethode, wie sie

im hiesigen Laboratorium zur Prüfung des Maxwellschen Zugkraftgesetzes und zu Sättigungsbestimmungen benutzt wurde, bestimmt[1]). Ferner dient G für mikromagnetische Arbeiten, wobei das Mikroskop ein konisches Trichinenobjektiv trägt, welches zwischen die Polspitzen paßt (vgl. auch Fig. 12). J, K, L, M, N, P stellen allerlei Polspitzen mit und ohne profilierte Bohrung für verschiedene Zwecke dar; S und T sind Reibahlen zur Anfertigung der 1:5-konischen Bohrungen. Folgende Einrichtungen seien näher beschrieben; sie wurden im Lauf der Zeit zum angegebenen Zweck hergestellt.

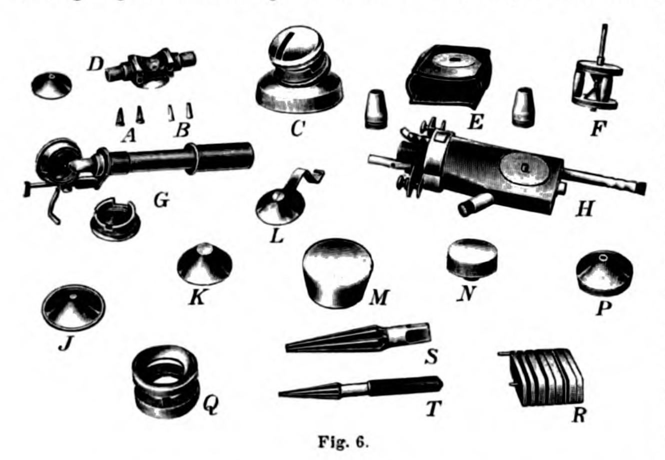


Fig. 6.

Schrägsichtige Polarmatur. Bei manchen magnetooptischen Erscheinungen — Faraday-, Kerr- und namentlich Zeeman-Effekt — ist die Beobachtung auch unter einem beliebigen Neigungswinkel ϑ zur Richtung des Feldes bezw. der Magnetisierung erforderlich. Man pflegt die (longitudinalen, $\vartheta = 0^0$) Längseffekte durch die gewöhnlichen axial durchbohrten, d. h. „längssichtigen" Polstücke hindurch zu beobachten, die (transversalen, $\vartheta = 90^0$) Quereffekte ohne weiteres durch direkte „quersichtige" Betrachtung.

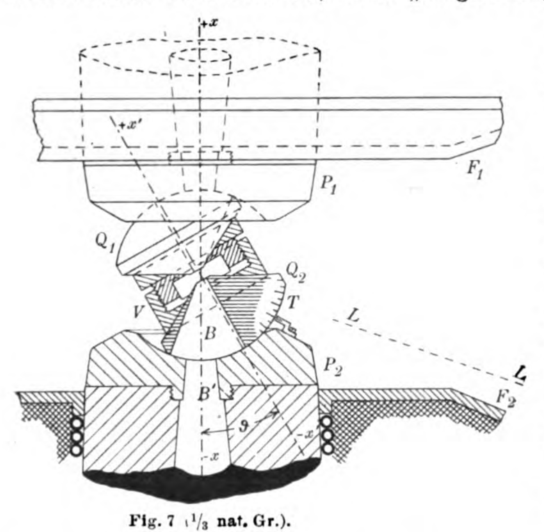


Fig. 7 (1/3 nat. Gr.).

Im Bereiche $0^0 < \vartheta < 45^0$ muß nun der Strahlengang durch das Polinnere geführt werden; diese kleineren Winkel sind gerade die interessantesten. Die Polspitzen Q_1 und Q_2 (Fig. 7 sowie C in Fig. 6) sind durch eine gefensterte, verschraubbare Metallfassung V verbunden; ihre Rückseiten sind kugelig in die Schalenpolschuhe P_1 und P_2 eingeschliffen. Die Bohrung B hat die Gestalt einer einseitig gelegenen, rechtwinkeligen Pyramide, welche um den Strahlenkegel paßt. Aus Fig. 7 geht hervor, wie man den Winkel zwischen der Feldachse $x'x'$ und der Strahlenrichtung xx beliebig einstellen und am Teilkreis T ablesen kann[2]).

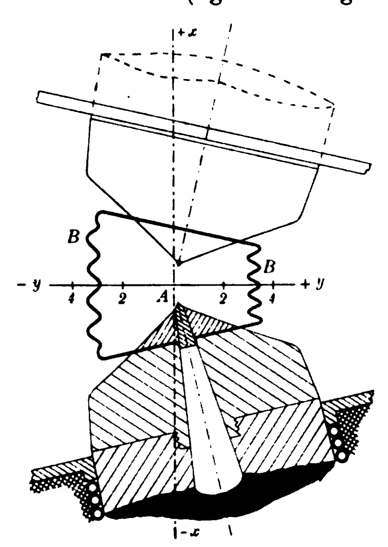
Die größeren Winkel im Bereiche $45^0 < \vartheta < 90^0$ lassen sich ohne weiteres realisieren, indem der Strahlengang dann außen um die massiven Polstücke verläuft, deren Kegelwinkel dann freilich kleiner als ϑ sein muß. Man visiert längs der Stirnflansche in der Richtung LL; bei allen derartigen Arbeiten erweist sich die Drehbarkeit des ganzen Elektromagnets auf seinem Kugellager als recht bequem.

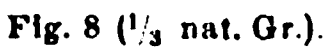
---

[1]) H. du Bois u. E. Taylor Jones, *Elektrotechn. Zeitschr.* **17.** *S. 543. 1896.*

[2]) Diese Vorrichtung wurde zu dem angegebenen Zwecke benutzt von G. J. Elias, *Versl. Akad. Wet. Amsterdam* **19.** *S. 402. 1910.*

Gradient-Polarmatur. Diese ist für Untersuchungen im ungleichförmigen Felde erforderlich. Das Versuchsobjekt kommt an eine Stelle in der Äquatorialebene, derart, daß sowohl $\mathfrak{H}_x$ selbst wie auch der Quergradient $\partial \mathfrak{H}_x / \partial y$ und zugleich das Produkt $\mathfrak{H}_x \cdot \partial \mathfrak{H}_x / \partial y$ noch möglichst große Werte behalten; letzteres bestimmt bekanntlich die ausgeübte Anziehung oder Abstoßung. Außer dieser Hauptforderung muß auch einigen praktischen Bedingungen betreffs des nötigen Raumes u. dgl. genügt werden[1]). In Fig. 8 ist eine hierzu geeignete Vorrichtung abgebildet: Die Achsen bilden hier beispielsweise einen Winkel von 25°; die Polspitzen sind mit konischen Kernchen versehen, deren abgerundete Enden hervorstehen. Man kann die Polspitzen von den Schuhen thermisch isolieren, am besten durch Hornringe, oder sie ganz umspannen mittels eines biegsamen Lederbalgs B, sodaß Immersion in flüssiger Luft u. dgl. stattfinden kann. Es wurden auch Polspitzen hergestellt — welche dann aber nicht mehr drehrund blieben —, bei denen im größeren Winkel (— y-Seite) ein zylindrisches Vakuumgefäß bezw. ein Porzellanöfchen Platz fand; es konnte so im Temperaturbereich —200° bis +1300° bei 15 Kilogauß gearbeitet werden (vgl. auch Fig. 15).




Fig. 8 (1/3 nat. Gr.).

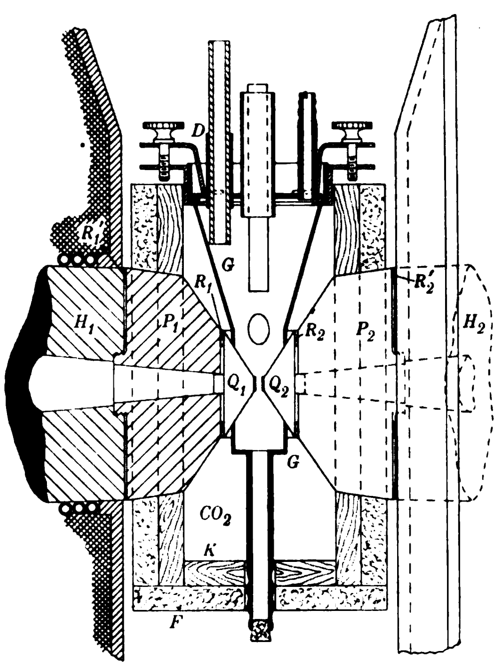


Fig. 9 (1/3 nat. Gr.).

Thermomagnetische Polarmatur. H in Fig. 6 sowie die Fig. 9 stellen eine solche Einrichtung dar, die von — 200° bis etwa + 200° benutzt werden kann. Die beiden Polspitzen Q_1 und Q_2 sind in einem oben trichterförmigen Metallgefäß G fest verlötet und von den Schuhen P_1 und P_2 durch Hornringe R_1 und R_2 isoliert, ebenso wie letztere von den Holmen H_1 und H_2 durch Flachringe R_1' und R_2'; es ergibt dies erfahrungsgemäß eine gute Wärme-Isolation ohne große Schwächung des Feldes. Das Gefäß ist mit Tubulatur für Thermometer u. dgl. versehen, ebenso wie mit einem Deckel D, der unter Öldichtung aufgeschraubt wird, sodaß mit Unterdruck und auch mit geringem Überdruck gearbeitet werden kann. K ist ein zweiteiliger Holzkasten, außen mit dickem Filz F bekleidet und mit Eiderdaunen umgeben, soweit der Raum es zuläßt. In G kommt die kryostatische Substanz, z. B. flüssige Luft, umgeben von

[1]) Vgl. P. Curie, *Ann. de chim. et de phys.* **5.** *S. 289. 1895;* Kōtarō Honda, *Ann. der Physik* **32.** *S. 1028. 1910;* Morris Owen, *Ann. d. Physik* **37.** *1912.*

Kohlensäureschnee. Andererseits können für thermomagnetische Versuche z. B. durch Dämpfe von siedendem Wasser, Xylol und Anilin Temperaturen von 100°, 139°, 183° erzeugt werden[1]). Hierbei kann es zuweilen erwünscht sein, das Zwischenfutter oder die Polfassung aus einem unmagnetischen Material herzustellen, dessen Ausdehnungskoeffizient demjenigen des Walzeisens (etwa 0,00001) nahe gleich ist. Hierfür käme Nickelkupfer mit schwachem Kupfergehalt oder gewisse Sorten Nickelchromstahl in Betracht.

Kryomagnetooptische Polarmatur. Für diese Zwecke, insbesondere zur Untersuchung des Zeeman-Effekts bis über 45 Kilogauß in flüssiger Luft[2]), ist im hiesigen Laboratorium eine besondere Apparatur mit Polimmersion ausgebildet worden. Hierbei entstehen Schwierigkeiten einmal durch das Beschlagen bezw. Vereisen

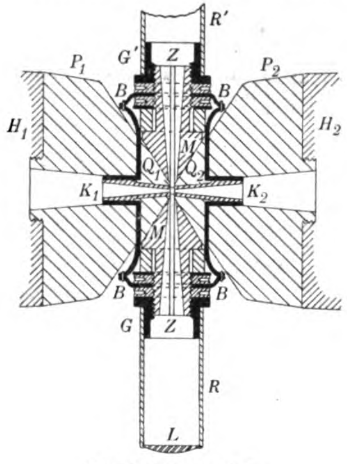


Fig. 10 (1/3 nat. Gr.).

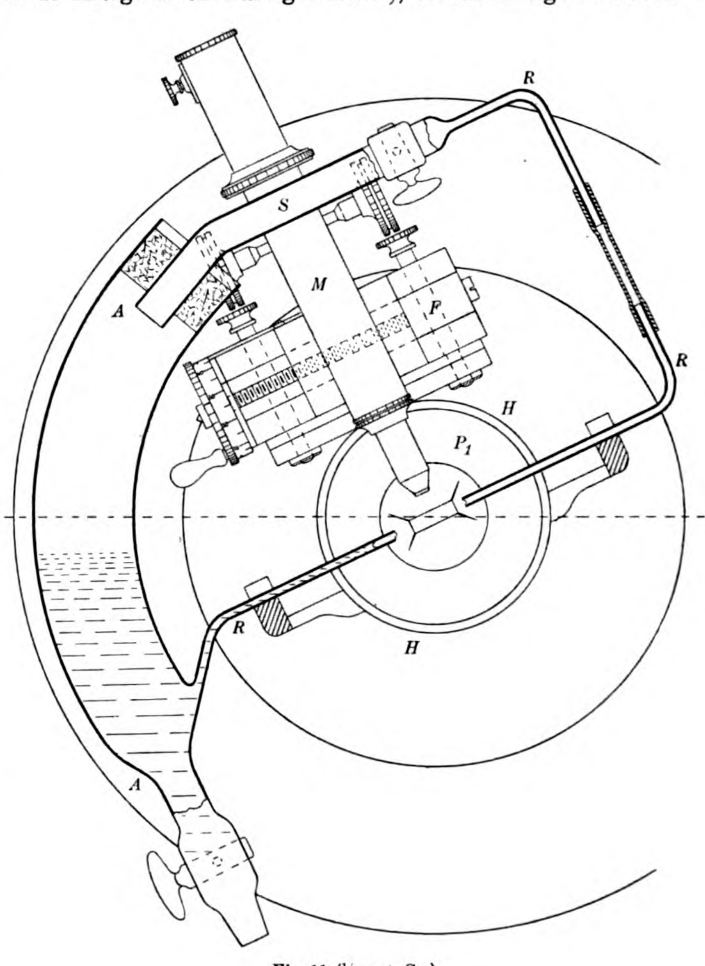


Fig. 11 (1/3 nat. Gr.).

der Dioptrik, dann aber durch das Vordringen der flüssigen Luft bis zur Stelle des stärksten Feldes infolge ihrer Dünnflüssigkeit und Magnetisierbarkeit, welche das Durchsickern durch feinste Risse und Gewebe bedingt; in dieser Beziehung wäre flüssiger Stickstoff vorzuziehen. Die durch Fig. 10 im Horizontalschnitt abgebildete Vorrichtung vermeidet diese Nachteile (siehe auch D und E in Fig. 6). Ein metallisches Zwischenstück MM wird jedesmal mittels leichtflüssigen Lots mit den Polspitzen Q_1 und Q_2 dicht verlötet; konische Querbohrungen durch dasselbe sowie die Längsschlitze der Kerne K_1 und K_2 gestatten einem transversalen bezw. longitudinalen Strahlenkegel freien Durchgang; das Präparat wird, event. in einem Kupferrahmen, zwischen die Stirnflächen ein-

[1]) Näheres bei F. C. Blake, *Ann. d. Physik* **28**. *S. 449. 1909.*
[2]) H. du Bois u. G. J. Elias, *Ann. d. Physik* **27**. *S. 238. 1908;* **35**. *S. 618. 1911.*

gefaßt, deren Abstand eine Zwischenlage ZZ reguliert. Ein Lederbalg BB umfaßt das Ganze, isoliert es von den Polschuhen P_1 und P_2 und dient als Behälter für flüssige Luft; die isolierten Kernstutzen K_1 und K_2 sollen ihr Durchsickern in die Bohrung behindern. Die Rohrstücke R und R' sind mittels Galalithbuchsen G und G' aufgeschraubt und tragen abschließende Linsen L bezw. Glasplatten. Der Innenraum kann durch ungelöschten Kalk von Wasserdampf und Kohlensäure befreit werden, obwohl diese Dämpfe ohnedies bald ausfrieren. Die Dioptrik wird außen durch Heizspülchen oder Flämmchen — event. auch durch Alkoholberieselung — eisfrei gehalten und öfters abgewischt.

Steighöhenarmatur. Ein früher beschriebener Apparat[1]) wurde dem Halbring angepaßt, wie Fig. 11 es im Äquatorialschnitt veranschaulicht. Mittels des eigentümlich gestalteten Glasgefäßes $AARRS$ können bei beliebiger Neigung von 0° bis 70° des Steigrohres RR Flüssigkeitskuppen im Felde beobachtet werden. Der ganze Apparat ist an einem Hohlzylinder H montiert, der innen schwach konisch ausgeschliffen und um den Polschuh P_1 drehbar angeordnet ist. Zum Ablesen des Meniskus dient ein Zeisssches Meßmikroskop M, welches durch eine dem Steigrohr parallele Mikrometerschraube F verschoben wird. Weitere Einzelheiten sind *a. a. O.* beschrieben; es wurden damals (1888) bereits Polspitzen benutzt, deren Stirnfläche nicht kreisförmig, sondern rechteckig war, und deren Mantelflächen prismatisch in die Polschuhe übergingen, wobei der Winkel mit der Achse ein kleinerer war als der bei Kegelspitzen erforderliche.

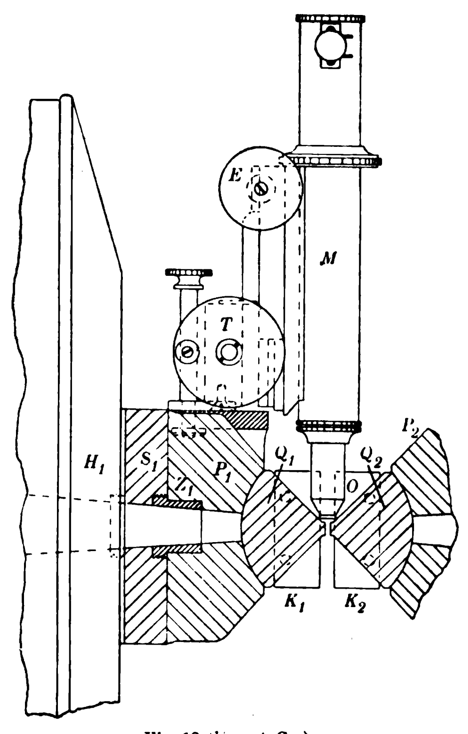


Fig. 12 (1/3 nat. Gr.).

Prismatische Polarmatur. Die weitere Verfolgung dieser Frage führte dann zur Konstruktion prismatischer „Rippenpole", wie sie K in Fig. 4 in der Ansicht, Fig. 12 im Längsschnitt darstellen. Außer für die Steighöhenmethode, kommen solche auch in Betracht bei der Beobachtung der transversalen magnetischen Doppelbrechung, bei Saitengalvanometern u. s. w. Neben der wieder ein wenig vorstehenden „Stirnrippe" setzen die Prismenflächen mit dem theoretisch günstigsten Neigungswinkel 45° an, der durch einen Kreisbogen von 5° schließlich bis 50° ansteigt. Ähnlich wie bei den Kugelschalen der Fig. 7 passen hier die Polspitzen Q_1 und Q_2 auf die Polschuhe P_1 und P_2 mittels zylindrischer Schliffe und können auch hier durch Leder thermisch von ihnen isoliert werden. Ferner tragen sie an ihren Enden kräftige Metallklötze $K_1 K_2$; durch Keile oder Schrauben kann der Polabstand fest eingestellt werden; die ganze innere Armatur ist nun um die Querachse drehbar gegen die Polschuhe. Diese sind ihrerseits um Zapfen Z_1, also um die Längsachse drehbar; P_1 ist mit dem Holme H_1 durch eine Zwischenscheibe S_1 verbunden, um mehr Platz zu gewinnen für das Meßmikroskop M mit Teilkreis-

[1]) H. du Bois, *Wied. Ann.* **35.** *S. 146. 1888.*

trommel T, dessen Objektiv O mittels der Einstellschraube E bis nahe an die Stirnrippen gerückt werden kann.

In der Querrichtung — senkrecht zur Bildebene — sind Q_1 und Q_2 genügend lang, derart, daß sich u. a. auch Saitengalvanometer ihnen anpassen lassen, deren Anwendung in Physiologie, Klinik und Technik immer weitere Kreise zieht. Insbesondere ist diese Polarmatur zur Aufnahme des Edelmannschen „Fadenträgers“ oder des Martens-Huthschen „Saiteneinsatzes“ geeignet. Selbstverständlich muß die Längsbohrung dann zur Aufnahme der zugehörigen Dioptrik eingerichtet werden, wobei der kurze Strahlengang recht bequem ist[1]).

III. Theoretisches.

Die Beziehungen zwischen den drei verschiedenen Modellen werden vor allem beherrscht durch den maßgebenden Kelvinschen Ähnlichkeitssatz: Geometrisch ähnliche Elektromagnete weisen in entsprechenden Punkten gleiche und gleichgerichtete Magnetisierungs- und Induktions- bezw. Feldwerte auf, wofern die Ströme — und daher auch die magnetomotorischen Kräfte bezw. die Amperewindungen — einfach proportional den *linearen* Dimensionen sind. Bei ähnlichen Gebilden sind indessen die Wickelungsquerschnitte und damit die Amperewindungen proportional dem *Quadrat* der Lineardimension. Es folgt daraus die bekannte Schwierigkeit, bei kleinen Apparaten genügend Windungen unterzubringen, sodaß diese im Verhältnis viel reichlicher zu bewickeln sind, damit sie im Betrieb nicht zu warm werden. Überhaupt konnte keine Rede davon sein, die Abmessungen der verschiedenen Modelle etwa mittels Storchschnabel zu zeichnen, sondern es mußte jedes für sich besonders entworfen, berechnet und normiert werden.

Von einer weiteren Vergrößerung des großen Modells wurde im allgemeinen abgesehen; das Eisengewicht steigt wie die dritte Potenz der Linearabmessung, das nötige Kupfergewicht fast wie deren Quadrat, die Abmessungen des Feldes — bei gegebenem Wert desselben — nur einfach proportional; dagegen der Feldwert — bei gegebenen Abmessungen — höchstens logarithmisch. Aus diesen Gründen gelangt man bald zu recht unvorteilhaften Verhältnissen. Die in Abschnitt V angeführten Messungen stehen hiermit durchaus im Einklang: bei engem Luftschlitz erscheinen größere Modelle nur wenig leistungsfähiger; ihre Überlegenheit tritt erst bei ausgedehnterem Interferrikum zutage, eben wegen der reichlicheren Erregung. Der Kunst des Experimentators darf ja auch manches überlassen bleiben, und zwar hat diese sich hier in möglichster Verkleinerung der Versuchsobjekte zu betätigen, worin mit einigem Geschick viel erreicht werden kann. Sollte aber trotzdem für Spezialzwecke einmal ein Riesenmodell erforderlich werden, so wäre dessen Entwurf und Normierung an Hand der vorliegenden Erfahrungen ein leichtes. Diese längst bekannten Gesichtspunkte seien nochmals betont, weil man auf diesem Gebiete zuweilen noch unrichtigen Anschauungen begegnet.

Die Berechnung des magnetischen Kreises und seiner Bewickelung im Rahmen der Hopkinsonschen Theorie habe ich früher ausführlich behandelt[2]); für mittlere

[1]) Vgl. W. Einthoven, *Arch. f. d. ges. Physiol.* **130.** *S. 287. 1909; Ann. d. Physik* **12.** *S. 1063. 1903;* **14.** *S. 182. 1904;* **16.** *S. 20. 1905;* **21.** *S. 483 u. 665. 1906:* F. F. Martens, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **13.** *S. 1061. 1911.*

[2]) H. du Bois, *Jahresber. d. Deutsch. Math. Vereinig.* **7.** *S. 90. 1898; Elektrotechn. Zeitschr.* **19.** *S. 788. 1898; diese Zeitschr.* **19.** *S. 361. 1899; Ann. d. Physik* **1.** *S. 202. 1900.*

Induktionswerte führt diese auch zu brauchbaren Ergebnissen. Bei der hier in Frage stehenden höchsten Sättigung bezw. „Übersättigung" spielt aber die Anordnung der Bewickelung eine ganz überwiegende, in jener Theorie durchaus nicht vorgesehene Rolle. In meiner Beschreibung des Vollrings habe ich bereits die besondere Funktion der „Polspulen" betont; hierüber sind seitdem systematische Messungen angestellt, über die an anderer Stelle berichtet wurde. Das Ergebnis führte zu einer möglichsten Vermehrung der Polwindungen; um das Gewicht und den Wattverbrauch zu verringern, wurde die Holmbewickelung auf das Maß reduziert, welches ausreicht, um bei größerem Interferrikum gewissermaßen Reserve-Erregung beizusteuern, gegebenenfalls auch ohne die — in vereinzelten Fällen unerwünschte — Einschaltung der Polwindungen.

Für die übliche drehrunde Polarmatur ergibt sich theoretisch als Feldwert im Punkte A bekanntlich

$$\mathfrak{H} = 4\pi\,\mathfrak{J}\left[\text{sinvers}\,\beta + \sin^2\alpha\cos\alpha\,\text{lognat}\,\frac{B}{b}\right]. \qquad 1)$$

Darin bedeutet $\mathfrak{J}$ die Magnetisierung und gehen die übrigen Bezeichnungen aus Fig. 13 hervor. Die Gl. 1) unterscheidet sich von der üblichen nur ein wenig infolge des Vortretens der Stirnflächen, wodurch $\beta > \alpha$. Sie gilt in erster Annäherung unter der Annahme Stefans, daß Polelemente ausschließlich auf den Stirn- und Kegelflächen auftreten; ersteren [letzteren] entspricht das erste [zweite] Glied des Klammerausdrucks; bekanntlich erreicht letzteres an und für sich ein Maximum für $\alpha = \text{arctg}\sqrt{2} = 54^0\,44'$ und ergibt größte Gleichförmigkeit für $\alpha = \text{arctg}\sqrt{2/3} = 39^0\,14'$.

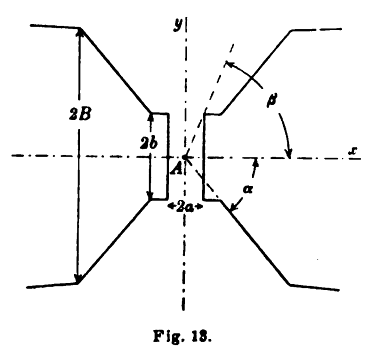
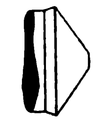


Fig. 13.

Im Hinblick auf die zunehmende Verwendung prismatischer Armaturen habe ich nun auch die Gleichung für eine solche entwickelt, deren unendlich lange erzeugende Geraden senkrecht zur Bildebene der Fig. 13 gedacht sind. Es ergibt sich unter den gleichen Voraussetzungen

$$\mathfrak{H} = 8\,\mathfrak{J}\left[\beta + \sin\alpha\cos\alpha\,\text{lognat}\,\frac{B}{b}\right]. \qquad 2)$$

Das Maximum des zweiten Gliedes liegt bei $\alpha = \text{arctg}\sqrt{1} = 45^0$, die größte Gleichförmigkeit bei $\alpha = \text{arctg}\sqrt{1/3} = 30^0$. Es besteht also zwischen beiden Gleichungen eine gewisse Analogie. Der ihnen gemeinsame logarithmische Faktor erklärt den überwiegenden Einfluß der den Stirnebenen benachbarten Mantelflächenelemente. Bei geringeren Werten von B/b lohnt es sich tatsächlich, B durch eine aufgestauchte Wulst peripherisch zu vergrößern (Fig. 14); die Zunahme des Logarithmus überwiegt die dadurch bedingte Abnahme von $\mathfrak{J}$. Bei größerem B/b ist es gerade umgekehrt, und es empfiehlt sich daher nach Weiß, den Polschuh etwas zu verjüngen.


Fig. 14 (1/4 nat. Gr.).

Der Vergleich der Gl. 1) mit vielen Messungsergebnissen des Abschnitts V, nach Abzug des rein elektrodynamischen Spulenfeldes, gestaltet sich ebenso günstig wie interessant, indem die Feldwerte viel größer ausfallen, als sich aus der Gleichung ergibt. Dies erscheint kaum anders erklärlich als durch die über Stefans annähernde Annahme hinausgehende Postulierung des Auftretens auch innerer Polelemente. Dieser passend als „Übersättigung" zu bezeichnende Vorgang läßt sich kurz durch die Vektorformel $\text{div}\,\mathfrak{J} \neq 0$ ausdrücken.

Gl. 2) läßt ebenfalls erhebliche Feldwerte erwarten, wie sie in Abschnitt V für die Prismenpole auch gemessen wurden. Und zwar ist die Übereinstimmung besser, sodaß hier keine Übersättigung, bezw. eine viel geringere, aufzutreten scheint. Auf diese mehr theoretischen Fragen gedenke ich an anderer Stelle näher einzugehen.

IV. Gebrauchsanweisung.

In die Ausfräsungen des großen Modells läßt sich je eine Hebeöse schrauben; der Transport der etwa 135 *kg* schweren Holme kann dann mittels durchgesteckten kräftigen Gasrohrs bewirkt werden. Die Grundplatte des großen Modells sowie sämtliche Teile des mittlern wiegen nicht über 70 *kg* und sind leicht mittels Tragbahre oder Rollbock zu transportieren. Die Apparate werden auf einem kräftigen Tisch aufgestellt, der allenfalls Lenkrollen mit axialen Fußschrauben erhält; ein justierbares Untergestell wurde von Dorn angegeben, ist aber in vielen Fällen entbehrlich. Im hiesigen Laboratorium haben alle optisch zu verwendenden Apparate eine metrische Achsenhöhe, meistens 300 *mm*; ebenso sind sämtliche Klötze, Tischchen, Stative und dgl. dezimal, was bei der Bemessung der Achsenhöhen in Tab. 1 berücksichtigt ist und sich beim raschen Aufbau von Versuchen als praktisch erwiesen hat. Wie bereits bemerkt, kann das kleine Modell ganz beliebig befestigt werden.

Im I. Abschnitt sind die üblichen Bewickelungen angeführt; je nach der verfügbaren Betriebsspannung sind beide Holme neben- oder hintereinander zu schalten. Bei der früheren gleichmäßigeren Bewickelung konnte die maximale Selbstinduktanz annähernd geschätzt werden, was bei den jetzigen Modellen 1911 nicht mehr der Fall ist. Die Relaxationsdauer erwies sich bedeutend geringer als die beim Vollring seinerzeit beobachteten hohen Werte[1]); für manche Versuchszwecke ist dies ein Vorzug. Bei kürzeren Beobachtungsreihen, etwa von der Ordnung 10^m, kann man die Wickelung erheblich überlasten. Eine Erhitzung um 50^0 über Zimmertemperatur, entsprechend etwa 20 Prozent Widerstandszunahme, setzt zwar infolge der Ausdehnung den Isolationswiderstand — im kalten Zustand von der Ordnung 10 Megohm — herab, was aber nicht schadet. Gegen folgenschwere „Körperschlüsse" wird beim Bewickeln möglichst Fürsorge getroffen; um sie im Betrieb zu vermeiden, ist nach wie vor Vorsicht beim Aus- oder Umschalten geboten; es soll dann stets zuvor ein Nebenschluß von 5 bis 20 Ohm je nach der Schaltungsart angelegt werden, was bei den diesem Sonderzwecke dienenden Hebelumschaltern selbsttätig erfolgt. Auch die Sonderpolspulen sollen vorsichtig behandelt und möglichst gut vom Magnetkörper isoliert werden. Sie lassen sich übrigens öfters dadurch ersetzen, daß man bei Dauerarbeiten den verfügbar bleibenden Raum selbst mit biegsamer Litze vollwickelt.

Die volle Ausnutzung der Magnete setzt richtig angepaßte und konstruierte Polarmaturen voraus, von denen im II. Abschnitt mehrere beschrieben und abgebildet sind. Da alle Anwendungen nicht vorherzusehen sind, wird jeder Experimentator sich die seinen Zwecken dienlichsten am besten selbst entwerfen. Der reduzierte Durchmesser von 43 *mm* erleichtert die Herstellung von Polspitzen[2]). Ihr Anteil am Gesamtfelde beträgt in der Regel 80 bis 90 Prozent und überwiegt also erheblich

---

[1]) Vgl. H. du Bois, *Wied. Ann.* **51.** *S. 540. 1894; diese Zeitschr.* **19.** *S. 359. 1899;* J. Koenigsberger, *Ann. d. Physik* **6.** *S. 513. 1901.* Das Feld steigt beim großen Modell *cet. par.* etwa 50-mal rascher an als beim alten Vollring.

[2]) Geeignetes schwedisches Walzrundeisen von 46 *mm* ($1^3/_4$-zöllig) liefern G. E. Meisters Söhne in Stettin; alle Polspitzen sollen zuletzt sorgfältig ausgeglüht werden.

den auf die Kegelflächen der Polschuhe zurückzuführenden Restteil. Die Stücke sind genau und zentrisch zu bearbeiten; sie bilden gewissermaßen ein Analogon mancher zentrierter Linsensysteme, nur daß sie Kraftlinien statt Lichtstrahlen zu konzentrieren bestimmt sind.

Die praktischen Vorzüge einer Unterteilung der Polarmatur überwiegen derart, daß man die Schnittfläche gern in den Kauf nehmen sollte. Bei halbwegs guter Bearbeitung bedingt diese keinen nennenswerten Nachteil[1]); ein sorgfältiger Feinschliff verbesserte in einem Falle das Feld nur um 200 Gauß, von 49,8 auf 50,0 Kilogauß; bei laufenden Messungen spielt das kaum eine Rolle. Die thermische Isolierung aus Horn oder Leder von 1 bis 2 *mm* Dicke, wie in Fig. 8, 9, 10 abgebildet, schwächt das Feld nur um wenige Kilogauß. Man kann durch passende Hartgummi- oder Glimmerscheiben die Polspitzen auch elektrostatisch isolieren, was bei der Beobachtung von Funkenspektren im Felde in Betracht kommt[2]). In vielen Fällen ist es erwünscht, die Polspitzen mit dem Versuchsobjekt in einen Thermostat oder Kryostat zu bringen, ähnlich wie in Fig. 9; es empfiehlt sich dann, die Eisenteile durch Vernickelung oder Asphaltlack zu schützen. Sofern nicht lose Schlitzkerne eingeschoben werden, sondern die Polspitzen selbst mit Schlitz zu versehen sind, werden sie zuvor zweckmäßig nach einer Meridianebene halbiert; das gleiche Verfahren gestattet auch die Einpassung von longitudinalen Versuchsobjekten, z. B. Spektralröhren[3]).

Beim großen Modell sind die Anziehungskräfte so groß, daß keine Konstruktion ihnen absolut zu widerstehen vermöchte und ein Zusammenklappen der Pole unter Zertrümmerung der Versuchsobjekte ohne geeignete Maßnahmen oft zu befürchten wäre. Mindestens tritt bei Stromschluß stets Durchbiegung bis zu 1 *mm* ein, sodaß es wenig Zweck hätte, den Polabstand mikrometrisch regeln bezw. messen zu wollen. Beim mittlern und namentlich beim kleinen Modell ist die Deformation nurmehr gering, läßt sich aber niemals völlig vermeiden. Die Fußflanschen sind mittels der Bolzen stets fest anzuziehen. Sodann bewähren sich zwischen Flachpolen dezimale Kaliberplättchen (*R* in Fig. 6), nach Art eines Gewichtssatzes angereiht. Kegelpolspitzen sind niemals unverwahrt in die Polschuhe zu passen; es wird als unmagnetisches Zwischenstück ein zentriertes Dreischraubenfutter (*Q* in Fig. 6) empfohlen; dieses ist 57° zur Achse konisch ausgedreht; mittels sehr kräftiger, stramm passender Neusilberschrauben wird der gewünschte Polabstand eingestellt.

Außer dem bisher erwähnten Zubehör kommen als Extrateile etwa in Betracht: Universalschlitten (z. B. *M* in Fig. 4), Wismutspiralen, Probespülchen; es wurde z. B. ein solches Spülchen von nur 1,3 *mm* Durchmesser aus Silberhaardraht von 0,0165 *mm*, mit Emaillack und Kollodium isoliert, hergestellt, welches 90 Windungen mit 0,515 *qcm* Gesamtwindungsfläche und 13 Ohm Widerstand aufwies. Zur Feldmessung dienen auch schwach keilförmige Etalongläser aus schwerstem Silikatflint[4]), welche die Firma Fr. Schmidt & Haensch in Berlin anfertigt. Parallelepipeda aus diesem Material werden oft als Demonstrationsobjekte verwendet; ebenso Waltenhofensche Pendel, rotierende Foucault-Scheiben und Siederohre u. dgl. Von der Aufzählung weiterer, namentlich magnetooptischer Nebenapparate kann hier füglich abgesehen werden.

---

[1]) Vgl. J. A. Ewing u. W. Low, *Phil. Mag.* **26.** *S. 274. 1888;* **34.** *S. 320. 1892;* P. Czermak u. V. Hausmaninger, *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **98.** *S. 1146. 1889.*

[2]) Vgl. hierzu C. Runge in H. Kayser, „Handbuch der Spektroskopie". Leipzig, S. Hirzel. *Bd. 2. S. 626 u. folg. 1902.*

[3]) Vgl. W. Lohmann, *Physikal. Zeitschr.* **9.** *S. 145. 1908.*

[4]) H. du Bois, *Wied. Ann.* **51.** *S. 549. 1894.*

V. Leistungen der Magnete.

Da Angaben betreffs des erreichbaren Feldes oft erwünscht sind, folgen tabellarische Zusammenstellungen einer Auswahl vieler Messungen mittels der ballistischen Methode. Das meistens verwendete Probespülchen hatte 3 *mm* Durchmesser, 0,3 *mm* Dicke und 45 Windungen von insgesamt 1,544 *qcm* Windungsfläche. Es wurden Polarmaturen mit Stirnflächen von 3,6, 6, 12, 43, 85 und 160 *mm* Durchmesser in Abständen von 0,5 bis 20 *mm* benutzt. Der Kürze halber ist das Feld nicht auch als Funktion der Erregung, sondern nur für ihren Höchstwert angeführt. Alle Feldwerte sind in Kilogauß ausgedrückt; diejenigen in eckigen [ ] wurden bei Benutzung der Sonderpolspulen erhalten; ihre Nutzwirkung geht zur Genüge hervor; durch besondere Versuche wurde auch hier festgestellt, daß die Holmwindungen zwar sehr erheblich hinter den Polwindungen zurückstehen, aber immerhin als Reserve von Nutzen sind. Die Werte sub W. beziehen sich auf den großen Weißschen Elektromagnet.

Tabelle 2.
Großes Modell Nr. 77.

Polabstand	Kegelstutz-Polschuhe VII $\frac{93}{43}$ *mm*				Flachpole I	Tellerpole II
	Polspitzen					
	VI $\frac{43}{3,6}$ *mm*	VII $\frac{43}{6}$ *mm*	VIII $\frac{43}{12}$ *mm*	43 *mm*	85 *mm*	160 *mm*
0,5 *mm*	49,7 [55,3]	47,3 [51,9]	41,8 [45,8]	—	—	—
1,0 „	46,4 [51,8] W.	45,4 [50]	40,7 [44,3]	29,6	23,5	—
1,5 „	43,5 [49,6] 48	43,7 [48,1]	39,3 [42,6]	29,0	23,4	—
2,0 „	40,2 [47,3] 46	41,6 [46,1]	37,9 [41,1]	28,4	23,2	—
5,0 „	—	33,2 [37,5]	32,3 [36,4]	26,7	21,3	8,9
10 „	—	24,7 [30,0]	25,0 [28,9]	23,4	18,0	8,3
15 „	—	—	20,4 [24,0]	19,8	15,7	7,6
20 „	—	—	—	16,7	13,8	7,0

Tabelle 3.
Mittleres Modell Nr. 85.

Polabstand	Kegelstutz-Polschuhe $\frac{80}{43}$ *mm*				Flachpole I	Tellerpole II
	Polspitzen					
	VI $\frac{43}{3,6}$ *mm*	VII $\frac{43}{6}$ *mm*	VIII $\frac{43}{12}$ *mm*	43 *mm*	85 *mm*	160 *mm*
0,5 *mm*	(46) 47,2 [51,9]	45,2 [48,8]	39,8 [43,9]	—	—	—
1,0 „	(42,5) 43,8 [48,2]	43,4 [47,2]	38,9 [43,2]	28,7	21,5	—
1,5 „	(39) 41,1 [45,5]	41,7 [45,2]	37,5 [42,1]	28,2	21,2	—
2,0 „	38,9 [43,3]	39,3 [43,2]	36,6 [41,4]	27,8	(21,2) 20,9	—
5,0 „	—	31,5 [36,1]	30,3 [35,5]	25,7	(17,6) 17,7	(7,2) 6,9
10 „	—	—	23,7 [29,3]	22,0	(13,7) 14,4	(6,3) 6,2
15 „	—	—	18,5 [24,5]	18,1	— 12,1	— 5,7
20 „	—	—	—	15,0	(9,9) 10,8	(5,4) 5,2

Tab. 3 zeigt auch für das mittlere Modell erhebliche Feldwerte bei den kleinsten Polabständen, während es bei ausgedehnterem Interferrikum weiter hinter der großen Type zurücksteht, in Übereinstimmung mit der Theorie. Hier sind in runden ( ) Klammern Höchstwerte eingesetzt, die der alte Vollringmagnet mit den

gleichen Polarmaturen zu geben imstande ist. Viele hier nicht zu diskutierende Erfahrungen wurden auch im Laufe der Zeit gesammelt über den Einfluß von Bohrungen verschiedener Profile und über die Gleichförmigkeit des Feldes.

Tabelle 4.
Kleines Modell Nr. 87.

Polabstand	Stirnfläche $\frac{43}{3,6}$ *mm*	Stirnfläche $\frac{43}{6}$ *mm*
0,5 *mm*	40,4	37,4
1,0 „	36,6	34,8
1,5 „	34,0	32,8
2,0 „	31,1	30,7
5,0 „	20,6	21,8

Wie schon bemerkt, sind die Polspitzen des kleinen Modells mit Wulsten versehen (Fig. 14); bei engem Luftschlitz ergibt auch dieses recht befriedigende Resultate. Die elektrodynamische Konstante des Sonderspulenpaars in der Anordnung der Fig. 2 betrug 375 Gauß pro *C.G.S.*-Einheit (Dekaampere).

In Tab. 5 sind einige Feldmessungen an der schrägsichtigen Polarmatur angeführt, einerseits im massiven, ungebohrten Zustand, dann auch nach Durchstich der prismatischen Ausbohrung; der Durchmesser der Stirnfläche betrug dabei 6 *mm*. Indem der Neigungswinkel von 0° bis 25° wächst, verringert sich das Feld etwa um 3, zwischen 0° und 45° um 7 Kilogauß. Bei massiven Polspitzen bleibt es normal zu den Stirnflächen, wie nach bekannten Eigenschaften der Kraftlinien nicht anders zu erwarten. Nach der Durchbohrung ist das Feld schwächer und etwas deformiert, sodaß ϑ einige Grad größer erscheint als der Winkel zwischen $x'x'$ und xx (Fig. 7); die Differenz wird geringer, wenn ϑ wächst, und schwindet bei 45°; der zurückrichtende Einfluß der Polwindungen kompensierte dann gerade die Ablenkung durch die Ausbohrungen. Übrigens ließe sich sowohl die Schwächung wie die Deformation wohl verringern durch einen Satz Teilkerne von gestreckter Pyramidenform.

Tabelle 5.
Großes Modell Nr. 77. Schrägsichtige Polarmatur VIII/XIII.

Winkel ϑ	Polabstände							
	1 *mm*		2 *mm*		4 *mm*		6 *mm*	
	massiv	Bohrung	massiv	Bohrung	massiv	Bohrung	massiv	Bohrung
0°	44,4	27,9	41,2	29,2	35,3	28,7	31,3	26,4
15°	—	—	—	—	—	27,3	—	—
25°	—	25,5	—	26,2	—	25,6	—	23,9
35°	—	—	—	—	—	23,8	—	—
45°	37,3	20,1	33,9	21,6	28,2	21,2	24,0	19,5

Bei der Gradientarmatur (VII/VI) wurde das Feld mittels eines kugeligen Probespülchens von 3 *mm* Durchmesser topographisch durchgemessen. Im allgemeinen liegt innerhalb des kleineren stumpfen Winkels (Richtung $+y$ in Fig. 8 und 15) das Maximum von $\mathfrak{H}_x \cdot \partial \mathfrak{H}_x / \partial y$ weiter und ist flacher und weniger hoch als in der entgegengesetzten $(-y)$ Richtung; bei zunehmendem Achsenwinkel entfernt es sich vom Achsenschnittpunkt A in der $+y$-Richtung; der Spitzenabstand und die Stromstärke

beeinflussen seine Lage weniger. In Fig. 15 sind einige sich hierauf beziehende Kurven verzeichnet, die zu der Anordnung in Fig. 8 passen. Die Abszissen $\pm y$ stellen die Entfernungen vom Achsenschnittpunkt A dar; die Ordinaten der Kurve I bedeuten das Feld $\mathfrak{H}_x$ in Kilogauß (rechte Ordinatenskale), die von II den Wert $\mathfrak{H}_x \cdot \partial\mathfrak{H}_x / \partial y$ in Millionen *C.G.S.* (linke Skale). Hierbei betrug der Spitzenabstand 3 *mm*, die Erregung 50 K.-A.-W. Man hat also ein Feld von fast 30 Kilogauß mit sehr erheblichem Gradienten.

Tabelle 6.

Großes Modell Nr. 77. Prismatische Polarmatur XIV/XIV.

Polabstände $2a$	Winkel $\vartheta = 0^0$	$\vartheta = 25^0$	$\vartheta = 45^0$
0,5 *mm*	[46,0]	—	—
1,0 „	[42,3]	—	—
1,5 „	[40,4]	—	—
2,0 „	35,3 [38,8]	33,5	30,4

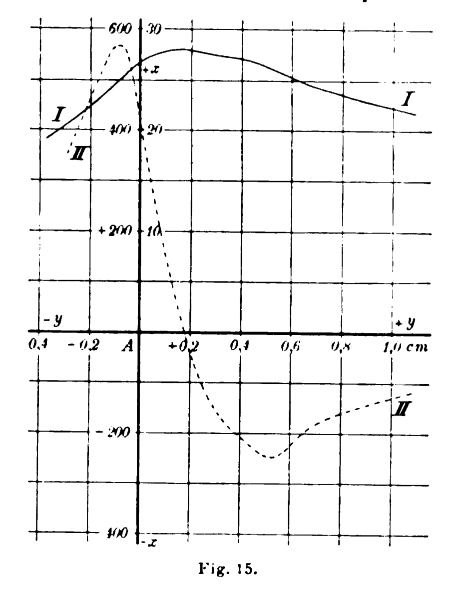


Fig. 15.

Die Breite der Stirnrippe bei den in Tab. 6 verzeichneten Messungen war $2b = 3{,}6$ *mm*, ihre Länge $2c = 84$ *mm*; über die mittleren 50 *mm* war das Feld dabei merklich gleichförmig; es fiel dann beiderseitig ab und wies an den Enden nahe die Hälfte des angegebenen Wertes auf.

Die Halbring-Elektromagnete werden nach wie vor von der Firma Hartmann & Braun A.-G. in Frankfurt a. M. gebaut. Das stete Interesse der Herren Prof. Hartmann, Dr. Bruger und Betriebsleiter Oppel hat zum Erfolge der Konstruktion ungemein beigetragen. Die Herren Prof. Kōtarō Honda, Prof. Morris Owen und Roberts beteiligten sich an den vielen im hiesigen Laboratorium ausgeführten Messungen in dankenswerter Weise.

Über ein einfaches Montierungsverfahren für Etalons nach Fabry und Perot.

Von
Peter Paul Koch in München.

Neben dem Stufengitter von Michelson und der planparallelen Platte nach Lummer und Gehrcke erfreut sich das Interferometer nach Fabry und Perot in der letzten Zeit einer zunehmenden Verwendung für Zwecke der Vergleichung von Wellenlängen wie zur Untersuchung der Struktur von Spektrallinien und ihrer Beeinflußbarkeit durch äußere Umstände.

In der Tat ist ja von den genannten Instrumenten das Fabry-Perot-Interferometer in seinem optischen Teil am einfachsten gebaut und demgemäß technisch am leichtesten realisierbar. Denn es besteht aus zwei ebenen, halbdurchlässig versilberten Glasflächen, die genau parallel zueinander stehen müssen.

Trotz dieser Einfachheit des optischen Grundbestandteils war das von Fabry und Perot zuerst beschriebene Instrument[1]), bei dem die beiden halbdurchlässig versilberten Spiegel mit allen Feinreguliervorrichtungen versehen waren, um sie genau parallel zueinander stellen und dabei ihren Abstand in weiten Grenzen ändern zu können, recht kompliziert zu handhaben und obendrein kostspielig. Deshalb hat das Fabry-Perot-Interferometer eine weitere Verbreitung wohl eigentlich nur in der Etalonform[2]) gefunden, bei der die beiden Spiegel parallel zueinander in festem Abstand montiert sind.

Bei der Originaletalon-Konstruktion von Jobin in Paris sind die Spiegelplatten getrennt durch einen Stahlring S (Fig. 1), der auf beiden Seiten je drei abgerundete und polierte Stahlknöpfe K trägt. Gegen diese werden die Spiegelplatten P mit ihren Planflächen durch Federn mit regulierbarem Druck angepreßt. Es ist also erforderlich, daß die Stahlknöpfe mit ihren abgerundeten und polierten Enden auf Bruchteile von Lichtwellenlängen genau in zwei zueinander parallele Ebenen fallen, und in der Erfüllung dieser Forderung liegt ein beträchtlicher Teil der Arbeit bei der Herstellung der Etalons. Pfund[3]) hat einige sich hierauf beziehende technische Winke angegeben.

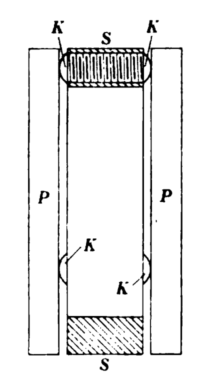


Fig. 1.
Etalon nach Fabry-Perot. Schema der Montierung von Jobin.

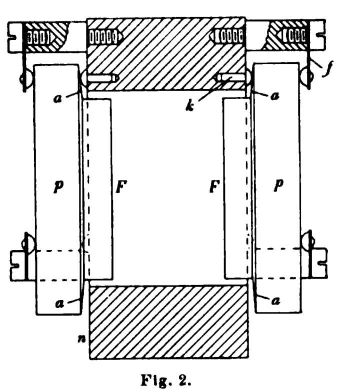


Fig. 2.
Etalon mit 15 mm Plattenabstand.

Man kann aber — und darauf hinzuweisen, ist der Zweck der vorliegenden Notiz — die geschilderte mühevolle Justierungsarbeit an den Auflageknöpfen beinahe völlig umgehen, wenn man den Spiegelplatten die in Fig. 2 gezeichnete Form p gibt, bei der die versilberte Planfläche F getrennt ist von der mattierten, schwach kegelförmigen Auflagefläche a. Hier genügt es, die Auflageknöpfe k nur soweit zu bearbeiten, daß sie ganz roh — auf einige hundertstel Millimeter genau — in zwei zueinander parallelen Ebenen liegen. Die Justierung der Flächen F auf Parallelismus vollzieht man dann [unter der üblichen Beleuchtung des Etalons mit monochromatischem Licht und Beobachtung der dabei entstehenden Planparallelitätsringe[4])] durch Hin- und Herschieben der durch Federn f an die Auflageknöpfe leicht angedrückten Platten p. Man bewerkstelligt dies am besten durch leichtes radiales Klopfen auf den Rand der Platten. Bei geeigneter Wahl des Druckes der an den Nickelstahl-Ring n auf Stützen befestigten Federn f sind die fertig justierten Etalons recht unempfindlich gegen äußere Erschütterungen, sodaß eine Aufstellung auf von dem Fuß-

[1]) Ch. Fabry und A. Perot. *Ann. de chim. et de phys.* **16.** *S. 115. 1899;* **22.** *S. 564. 1901; Astrophys. Journ.* **13.** *S. 265. 1901;* Referate in *dieser Zeitschr.* **19.** *S. 123. 1899;* **21.** *S. 237. 1901.*

[2]) Ch. Fabry und A. Perot, *Ann. de chim. et de phys.* **22.** *S. 564. 1901;* **25.** *S. 98. 1902; Astrophys. Journ.* **15.** *S. 73. 1902;* Referate in *dieser Zeitschr.* **19.** *S. 123. 1899;* **24.** *S. 125. 1904.*

[3]) A. H. Pfund, *Astrophys. Journ.* **28.** *S. 197. 1908.*

[4]) Die Beobachtung der Planparallelitätsringe bei der Justierung ist neuerdings mit gutem Erfolg ersetzt worden durch die Beobachtung der Strahlenvereinigung des vom Etalon herkommenden Lichtes von der Brennebene des Fernrohrs aus, d. h. also durch die Foucaultsche Messerschneidenmethode. Einzelheiten hierüber und über die damit verbundenen Vorteile sollen später an anderer Stelle veröffentlicht werden.

boden isoliertem Pfeiler oder in Juliusscher Aufhängung nicht nötig ist. Insgesamt wurden in der Institutswerkstätte durch den Institutsmechaniker A. Hörtensteiner vier Nickelstahl-Etalons dieser Art von 1 *mm*, 5 *mm*, 15 *mm* und 40 *mm* Abstand zwischen den Spiegelflächen gebaut, die sich bei den bisherigen Anwendungen bestens bewährt haben.

Die Glasplatten wurden von der Firma A. Hilger in London in hervorragender Güte geliefert und in zuvorkommendster Weise an den Auflageflächen mit der gewünschten schwach kegelartigen Form versehen.

München, Physikalisches Institut der Universität, den 3. Oktober 1911.

Über die Würdigung des Augendrehpunktes und seine Berücksichtigung in der konstruktiven Optik.

Von
M. von Rohr in Jena.

Daß sich das Menschenauge beim direkten Sehen um seinen Drehpunkt bewegt, wurde im Jahre 1826 durch J. Müller festgestellt und damit der Grund gelegt zu einer exakten Definition der perspektivischen Wahrnehmung, die das Auge dem auf die Umgebung blickenden Beobachter von ihr vermittelt. Es scheint, daß es damals mit dieser Erkenntnis des natürlichen Sehens sein Bewenden hatte, und daß sie nicht auf die mannigfachen optischen Vorkehrungen angewandt wurde, mit denen man schon zu jener Zeit das Auge zu unterstützen suchte.

Es ist ohne weiteres klar, daß es sich hier um einen für die Instrumentenkunde sehr wichtigen Gegenstand handelt, und ich hatte schon seit längerer Zeit die Absicht, mich darüber zu äußern; ich habe es aber immer wieder verschoben, weil ich noch mehr Material zusammenbringen wollte. Wenn ich nun im nachstehenden das zusammentrage, was ich von der theoretischen Würdigung des Augendrehpunktes und seiner Berücksichtigung in der Praxis weiß, so tue ich das in klarem Bewußtsein der Unvollständigkeit meiner Kenntnis. Ich sehe die hier folgende Reihe von Arbeiten auf diesem Gebiet zunächst noch nicht als lückenlos an: da sie meistens unabhängig voneinander sind, so kann es leicht geschehen, daß vorläufig unbekannte Namen später vor- oder eingeschoben werden müssen. Der kritische Leser könnte also nichts Besseres tun, als an seinem Teile diese Lücken ausfüllen. Daß der Versuch gerade jetzt gemacht wird, hat seinen Anlaß in einer Mitteilung, die ich von privater Seite zu meiner letzten Monographie[1]) erhielt: ich hätte darin einen wichtigen Hinweis versäumt, und es sei ferner das Urteil zu beanstanden, zu dem ich bei der Bemessung des Hauptverdienstes gekommen sei. Was den ersten Punkt angeht, so liegt zweifellos ein Unterlassungsfehler in meiner Darstellung vor. Hinsichtlich des zweiten Punkts kann ich meinem Kritiker nicht zustimmen: ich werde am Schluß dieses Artikels meine Ansicht zusammenfassen, um es den Lesern zu überlassen, ob sie sie annehmen oder verwerfen wollen; denn ich weiß sehr wohl, daß man Werturteile zwar begründen kann, daß es aber kaum je gelingen wird, abweichende Ansichten völlig zum Schweigen zu bringen.

---

[1]) M. von Rohr, Die Brille als optisches Instrument. gr. 8°. IX, 172 S. m. 48 Textfig. u. 1 Taf. Leipzig, W. Engelmann 1911.

Den ersten Anlaß, den Augendrehpunkt mit einem optischen Instrument in Zusammenhang zu bringen, bot die Stereoskopie. Während im allgemeinen um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die Stereogramme ganz naiv benutzt wurden, ohne daß man auf ihre Beziehung zum dargestellten Objekt einging, fand der Frankfurter Gymnasiallehrer Johann Joseph Oppel[1]) (geb. 23. VI. 1815, gest. 27. IV. 1894) im Jahre 1855 die Unmöglichkeit heraus, durch eine stereoskopische Zeichnung den Eindruck des körperlichen Gegenstandes mit voller Treue wiederzugeben. Gewiß gelinge die richtige Wiedergabe, soweit das direkte Sehen in Betracht komme, dagegen erführen „die Projektionen der indirekt noch mit gesehenen Punkte auf der Retina eine relative Verschiebung, die durch ebene Zeichnungen nicht nachzuahmen ist". Er hat also den Unterschied zwischen „der Haupt- und den Füllperspektiven" (um einen modernen Ausdruck zu brauchen) erkannt und für stereoskopische Zeichnungen die Forderung ausgesprochen, sie im direkten Sehen zu betrachten. Alsdann wird jedes stereoskopische Halbbild so gestellt, daß mit seinem perspektivischen Zentrum der zugehörige Augendrehpunkt zusammenfällt. Daß J. J. Oppel etwa für die Korrektion von Stereoskoplinsen den Augendrehpunkt berücksichtigte, läßt sich aus seinen Schriften nicht entnehmen; ich würde solche Bestrebungen bei ihm für unwahrscheinlich halten, der sich besonders eingehend mit den einfacher in aller Strenge zu behandelnden linsenlosen Stereoskopen beschäftigt hat.

Die hier vorliegende Aufgabe wird im Februar 1863 gestreift von dem schottischen Ingenieur Robert Henry Bow[2]) (geb. 27. I. 1827, gest. 17. II. 1909), der damals einen Betrachtungsapparat veröffentlichte, den man mit gutem Grunde als einen Vorläufer des Veranten ansehen kann. Seine hier in Betracht kommende Beschreibung mag *in extenso* folgen, da sie im Gegensatz zu der vorigen schwer zugänglich ist. Er schlägt Linsen von 9 bis 10 *cm* ($3^1/_2$ bis 4 *inch*) Brennweite, also 11 bis 10 Dioptrien Brechkraft, vor und verlangt einen Linsendurchmesser von mindestens $3^3/_4$ *cm* ($1^1/_2$ *inch*). Alsdann fährt er fort: „*The lens produces least distortion of the margins, and brings the „whole picture more uniformly into focus if, a meniscus, the concave side being towards the eye; „but a plano-convex, or even a crossed lens, may be employed without very bad effects, the flat „or least convex side being placed outwards. As a general rule for the diameter of the lens, „we may state that, in order to get a circle of observation equal in diameter to the focal length, „the centre of the eye-ball must be at a lens distance from the less than the lens's diameter; „for a larger circle the eye must, of course, be still nearer.*"

Aus dieser Beschreibung kann ohne weiteres entnommen werden, daß der Verfasser für den augenseitigen Grenzwinkel des Blickfeldes vom Augendrehpunkt als Scheitel ausgegangen ist; daß er bemerkt hat, daß dieser Winkel größer sei als die Hauptstrahlneigung auf der Seite der Objekte (Diapositive), kann ebensowenig wundernehmen wie seine Andeutungen über den Zustand der schiefen Büschel. Derselbe Autor hat einige Wochen darauf den ausführlichsten Aufsatz über den Astigmatismus schiefer Büschel veröffentlicht, der überhaupt in der spezifisch photographischen

[1]) J. J. Oppel, Nachträgliche Bemerkungen zur Stereoskopie, insbesondere zur Erklärung des Glanzes zweifarbiger Bilder. *Jahrb. Frankf. Ver. 1854/55. S. 33—37*, auch abgedruckt in *Pogg. Ann.* **100.** *S. 462—466. 1857.* Die hier in Betracht kommende Stelle findet sich auch bei M. von Rohr, Die binokularen Instrumente. gr. 8°. VIII, 223 S. m. 90 Textfig. u. 1 Taf. Berlin, J. Springer 1907. *S. 107.*

[2]) R. H. Bow, *On the advantages of photographic transparencies on glass compared with photographic paper prints; and on a portable arrangement for exhibiting those of moderate size.* (*Read Meet. Edinb. Phot. Soc. 4. II. 1863.*) *The Brit. Journ. of Photogr.* **10.** *S. 101—102. 1863.*

Literatur des englischen Sprachgebiets jener glänzenden Zeit zu finden ist. Man hat ferner noch zu beachten, daß das damals ausschließlich übliche Format englischer Diapositive (*transparencies*) ein Quadrat von 8,25 *cm* ($3^1/_4$ *inch*) Seitenlänge war. Dies führt auf einen objektseitigen Diagonalwinkel von ungefähr 2×30^0 und unter Berücksichtigung der Bowschen Meßzahlen auf einen Abstand zwischen Augendrehpunkt und innerem Linsenscheitel von etwa 30 *mm*. Es sei nebenbei bemerkt, daß eine solche Lupenbrille von 10 Dioptrien Brechkraft bei sphärischen Grenzflächen sehr wohl durch bloße Durchbiegung für den beim Blicken auftretenden Astigmatismus schiefer Büschel korrigiert werden kann (siehe z. B. Fig. 18 auf *S. 44* meiner Monographie), und daß der Autor von systematischen Versuchen in dieser Hinsicht berichtet. Eine weitere Folge haben diese Bowschen Bestrebungen damals nach keiner Richtung gehabt: einmal ist überhaupt die theoretische Forschung in den sonst vorzüglich geleiteten photographischen Arbeitsgesellschaften Englands trotz einiger glänzender Ansätze nicht sehr gefördert worden, und dann nahm noch in den sechziger Jahren das Interesse an photographischen Problemen sehr merkbar ab.

Erst ein Vierteljahrhundert später wird wieder ein neuer Versuch bekannt, den Augendrehpunkt in sein Recht einzusetzen, ohne daß an einen Zusammenhang mit den vorher genannten Arbeiten zu denken wäre. Ein junger Arzt, August Müller[1]), veröffentlichte 1889 eine in mehrfacher Hinsicht bemerkenswerte Dissertation über Brillengläser. Ich benutze diese Gelegenheit, um Hrn. Fabrikdirektor K. Martin in Rathenow für seinen mir sehr wertvollen Hinweis auf diese Arbeit zu danken, die ich leider in meiner Monographie nicht berücksichtigt habe. Da diese Schrift nicht ganz leicht zugänglich ist, so soll der Absatz auf *S. 6/7* wiedergegeben werden, der die Problemstellung enthält.

„Das Sehen durch Fernröhre geschieht nur in der Achse des Instruments; durch „Brillengläser dagegen muß möglichst nach allen Richtungen deutlich gesehen werden „können. Setzen wir nun statt einer Linse eine einzige brechende Fläche, so ist es „das erste Erfordernis, daß diese in ihrer ganzen Ausdehnung senkrecht auf der „Richtung des Sehens steht. Beim Fernrohr ist diese Bedingung erfüllt, wenn die „brechende Fläche als eine senkrecht auf der Axe des Instruments stehende Ebene „angesehen wird; denn die Axe stellt hier die einzige Sehrichtung vor. Für das „Brillenglas dagegen gibt es ebensoviele Sehrichtungen, wie das Auge Blickrichtungen „hat; soll also die brechende Fläche des Brillenglases immer senkrecht auf der Seh-„axe stehen, so muß sie eine Kugelfläche sein mit dem Drehpunkt des Auges als „Mittelpunkt. Der Radius dieser Kugelfläche ergibt sich leicht auf folgende Weise: „Der Drehpunkt des Auges liegt 13,5 *mm* hinter der Kuppe der Hornhaut. Die hintere „Fläche eines Brillenglases muß notwendigerweise etwa 15 *mm* von dem höchsten „Punkt der Hornhaut entfernt sein. Der Abstand der brechenden Fläche vom Dreh-„punkt des Auges ist demnach $13{,}5 + 15 = 28{,}5$ oder rund 30 *mm*, welche Zahl den „gesuchten Radius angibt. Auf diese kugelförmig gestaltete brechende Fläche müssen „wir offenbar die aplanatische Linse unseres obigen Beispiels einrichten, um ein von „sphärischer Abweichung freies, sogenanntes periskopisches Brillenglas zu bekommen."

Man sieht ganz deutlich, daß Hr. Müller die Wichtigkeit des Augendrehpunkts erkannt und den Ort für den Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen des Brillenglases (er nennt sie Sehrichtungen) zutreffend zu 28,5 bis 30 *mm* bestimmt hat. Das Verdienst einer brauchbaren Problemstellung kommt ihm ohne Zweifel zu; leider aber war er

[1]) A. Müller, Brillengläser und Hornhautlinsen. *Dissertation, Kiel 1889. 8°. 31 S. m. 3 Textfig.*

der mathematischen Behandlung nicht gewachsen, und sein Gedanke, „Periskopizität" mit dem Minimum der sphärischen Aberration zusammenzukoppeln, ist entschieden verfehlt. Auch auf die chromatische Korrektion von Brillengläsern höherer Brechkraft ist er eingegangen, und auch sie behandelte er nicht in einer der schönen Problemstellung entsprechenden Weise: die Aufhebung der chromatischen Längsaberration würde für achromatische Brillengläser ohne Bedeutung sein.

Nunmehr sollte es nicht einmal mehr zehn Jahre dauern, bis der Pariser Augenarzt Franz Ostwalt 1898 die Aufmerksamkeit von neuem auf die Wichtigkeit periskopischer Gläser lenkte. Ich bin in meiner Monographie (*S. 143—146*) ziemlich ausführlich auf seine Arbeiten eingegangen, und ich kann hier nur meine schon früher ausgedrückte Bewunderung seines außerordentlichen Arbeitseifers wiederholen. Er stellte sich die Aufgabe durchaus richtig, den Augendrehpunkt in 30 *mm* Entfernung vom vorderen Brillenscheitel als Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen anzunehmen und durch systematische Änderung der Brillenkrümmungen die Durchbiegung zu finden, die ein Brillenglas von gegebener Brechkraft $1/f$ für einen Drehungswinkel $w' = 25^0$ freimacht vom Astigmatismus schiefer Büschel. Leider begegnete ihm bei seinem mathematischen Ansatz für die trigonometrische Rechnung das Mißgeschick, daß er den Augendrehpunkt selbst mit seinem scheinbaren Ort verwechselte. Obwohl er die Richtungsverschiedenheit der objekt- und augenseitigen Hauptstrahlen bemerkte, kam er doch nicht auf die richtige Behandlung des Problems. Trotz dieses Versehens war er aber imstande, die Doppellösigkeit der Aufgabe zu erkennen, wie sie vorliegt, wenn es sich um den wichtigsten Fehler, den Astigmatismus schiefer Büschel, handelt. Ferner kommt ihm das Verdienst zu, die Aufmerksamkeit namhafter Fachmänner auf dieses Problem gelenkt zu haben; es sollte nunmehr nicht wieder aus dem Gesichtskreis der Ophthalmologen verschwinden. Für die deutsche Schule braucht man zum Belege nur an die allgemein anerkannten Darstellungen zu erinnern, die Hr. C. Heß für das große „Handbuch der Augenheilkunde" von Graefe-Sämisch verfaßt hat. Sowohl in der Ausgabe von 1902 (*S. 151*) als in der von 1908—1910 (*S. 166*) findet sich ein Hinweis auf die Ostwaltschen Arbeiten. Ich habe geglaubt, meinerseits auf die Verdienste von Hrn. Ostwalt hinweisen zu sollen, indem ich die Gesamtheit der schwächer durchgebogenen Gläser punktueller Abbildung als Ostwaltsche Formen zusammengefaßt habe. Sie treten damit in einen gewissen Gegensatz zu den stärker durchgebogenen, bei denen die Inzidenzwinkel an beiden Flächen verhältnismäßig klein sind, und die deshalb als Wollastonsche Formen bezeichnet wurden.

Die Ostwaltschen Arbeiten wurden schon im nächsten Jahr, 1899, gefördert, als M. Tscherning, ein damals an der Sorbonne angestellter Ophthalmologe, auf dem internationalen Ophthalmologenkongreß zu Utrecht zu Wort kam. Hr. Tscherning beteiligte sich an der Diskussion zu einem Ostwaltschen Vortrage und berichtete von seinen gemeinsam mit Hrn. Rosenfeld angestellten Versuchen. Darnach war zunächst einmal die durch das Brillenglas vermittelte Abbildung untersucht worden, und zwar hatte man die Strahlenbegrenzung für die schiefen Büschel durch eine Blende vorgenommen, an deren Ort beim Gebrauch des Brillenglases der Drehpunkt des Auges zu liegen kam. *S. 359* des Kongreßberichts lautet: „*Les choses se passent, comme* „*si l'oeil parcourait une image fixe, formée par le verre combiné avec la pupille; il faut se figurer* „*celle-ci placée au centre de rotation de l'oeil*" und auf *S. 360:* „*Le diaphragme* (*de 5 mm*) „*à 28 mm derrière la lentille, ce qui correspond à la position du centre de rotation de l'oeil.*" Hr. Tscherning sprach weiterhin von Formeln für die Durchbiegung, die notwendig sei, um den Astigmatismus schiefer Büschel, die Bildfeldkrümmung und die Ver-

zeichnung zu beeinflussen. Er hat diese Formeln in seiner nächsten Arbeit von 1904 mitgeteilt und eingehend behandelt, und ich kann für meine Stellung dazu auf meine Monographie (*S. 147—149*) verweisen.

Was hier bemerkt werden muß, ist der Umstand, daß die exakte mathematische Formulierung, die Hrn. Ostwalt mißlungen war, von Hrn. Tscherning bereits 1899 ausgesprochen worden ist. Ich habe bei der Abfassung meiner Monographie diesen Umstand leider ebenso übersehen wie die Mitarbeit Hrn. Rosenfelds, und es ist nicht mehr als billig, daß ich diese Richtigstellung vornehme. Die exakte Formulierung habe ich erst bei der Tscherningschen Hauptarbeit vom Jahre 1904 hervorgehoben, wo die Vorrechenformeln angegeben und behandelt werden. Die Exaktheit in den Daten hat hier noch insofern eine besondere Bedeutung, als in der Zwischenzeit, im Jahre 1901, die Beziehungen Hrn. Gullstrands zur Firma Zeiss begannen. Darauf wird weiter unten noch näher einzugehen sein.

Hinsichtlich der Tscherningschen Veröffentlichung vom Jahre 1904 mag noch nachgetragen werden, daß dort (*S. 257*) auch die Aufhebung der chromatischen Abweichung des Auges durch ein Brillenglas behandelt wird. Hr. Tscherning behandelt aber nur die beim ruhenden Auge vorkommende Längsaberration und geht auf die Frage gar nicht ein, welche Bedingungen für Brillengläser zu erfüllen seien, die beim Blicken keine Farben zeigen sollten.

Was die Berücksichtigung aller dieser Studien in der praktischen Optik angeht, so mag darauf hingewiesen werden, daß sich die Pariser Firma F. Benoist, L. Berthiot et Cie. bereit erklärte, Brillengläser der Tscherningschen Formen anzufertigen. Soweit ich unterrichtet bin, sieht es aber nicht so aus, als hätten sich jene Formen punktuell abbildender Gläser in höherem Maße in die Praxis eingeführt, und das habe ich in meiner Monographie auf *S. 146* kurz angegeben.

An dieser Stelle soll auch noch auf den englischen Ophthalmologen Archibald Stanley Percival hingewiesen werden, der das Problem des punktuell abbildenden Glases 1901 und 1903 im Anschluß an Hrn. Ostwalt behandelt hat. Ich habe (auf *S. 146/147*) in meiner Monographie dazu Stellung genommen und möchte hier nur nachtragen, daß in neuester Zeit noch eine Behandlung[1]) dieses Themas aus seiner Feder erschienen ist. Es finden sich dort auf *S. 132—138* die Formeln für die trigonometrische Rechnung und auf *S. 51—53* als Resultate die Flächenbrechkräfte der von ihm empfohlenen Gläserformen. Bei dieser Gelegenheit (*S. 52*) macht er auf die Verschiebung der Hauptpunkte aufmerksam, die bei Menisken endlicher Dicke eintritt, und die rein theoretisch bei der Bestimmung der Brechkraft der korrigierenden Brillengläser zu berücksichtigen wäre.

Soll nun die Behandlung des Astigmatismus schiefer Büschel durch die in gewisser Weise zusammengehörenden Arbeiten der Hrn. Ostwalt, Tscherning-Rosenfeld und Percival bis zum Jahre 1904 zusammengefaßt werden, so komme ich zu dem folgenden Ergebnis. Es war die Aufgabe der Berücksichtigung des Augendrehpunkts richtig gestellt, richtig mathematisch formuliert und mit Annäherungsformeln auch richtig gelöst worden, soweit es sich um die Konstruktion punktuell abbildender Brillen unter Berücksichtigung einer mittleren Farbe handelte. Die Müllersche Forderung einer den Blickbewegungen Rechnung tragenden achromatischen Brille war nicht neu aufgenommen worden. Ausführende optische Firmen

[1]) A. S. Percival, *The prescribing of spectacles.* kl. 8°. III, 159 S. m. 24 Textfig. Bristol, J. Wright & Sons 1910.

haben die vorgeschlagenen Konstruktionen von Brillengläsern anscheinend nur in geringem Maße hergestellt, und es fehlen alle Anzeichen dafür, daß diese sehr bemerkenswerten und verdienstvollen Studien von technischen Optikern für die Herstellung eigener Instrumente beachtet worden seien. Direkt ausgesprochen haben jene Autoren eine solche Anregung zur Übertragung der für die Konstruktion von Brillengläsern aufgefundenen Konstruktionsprinzipien auf zusammengesetzte optische Instrumente ebenfalls nicht.

Wenn ich jetzt dazu übergehe, die Berücksichtigung des Augendrehpunkts in der technischen Optik zu schildern, so bin ich sehr gegen meinen Wunsch gezwungen, auf meine eigene Tätigkeit dabei einzugehen. Indessen scheint mir das die Erkenntlichkeit Hrn. Gullstrand gegenüber zu fordern, dessen Bedeutung als theoretischen Optiker ich für ganz außerordentlich groß halte. Als er im Jahre 1901 mit der Forderung einer für das direkte Sehen bestimmten Lupe an die Zeisssche Werkstätte herantrat, war für die Jenaer Schule die Berücksichtigung des Augendrehpunkts vollständig neu, und ich bin ganz sicher, daß niemand unter uns eine Ahnung von der oben geschilderten Entwickelung hatte: wir haben die ophthalmologische Literatur damals nicht beachtet, da uns die Herstellung von Brillen ganz fern lag, und wir waren gewöhnt, das Auge als optisches Instrument anzusehen, auf das die Abbesche Definition anwendbar sei. Als ich die Arbeit an der Gullstrandschen Lupe im Spätherbst des Jahres 1902 aufnahm, habe ich die außerordentliche Bedeutung des Augendrehpunkts durchaus noch nicht völlig gewürdigt. Es zeigte sich aber noch vor Jahresschluß, daß die Instrumente für das ungehinderte direkte Sehen eben besonders zu behandeln seien. Wir waren zu einem Ausbau unseres optischen Systems gezwungen und sind mehr und mehr zur Annahme Gullstrandscher Vorstellungen gekommen.

Wir mußten bei der vorliegenden Aufgabe auch die Farbenfehler für das bewegte Auge berücksichtigen und taten das in Übereinstimmung mit Hrn. Gullstrand, der schon im Frühjahr 1903 in einem — nicht veröffentlichten — Entwurf die Korrektionsvorschrift entwickelt hatte. Soviel ich weiß, ist sie erst 1907[1]) veröffentlicht worden, und zwar kommt sie auf eine Aufhebung der Neigungsdifferenz der verschiedenen chromatischen Hauptstrahlen hinaus. Ich glaube nicht, daß man sich darüber wundern kann, wenn wir in Jena, namentlich Hr. Eppenstein und ich, etwa seit 1904 ständig von dem Gullstrandschen Prinzip der Berücksichtigung der Augendrehung gesprochen haben. Obwohl wir diese Benennung in ziemlich weit verbreiteten Schriften benutzt haben, ist uns noch kein öffentlicher Widerspruch dagegen zu Gesicht gekommen. Allerdings muß ich bemerken, daß Hr. Gullstrand selbst 1907 in seiner soeben zitierten Arbeit unsere Benennung nicht annimmt, sondern einfach von der Drehpunktsbedingung spricht.

Unsere Beziehungen zu Upsala sind seitdem nicht abgerissen, und ich habe bereits in meiner Monographie (*S. 151*) bemerkt, daß seit dem Spätherbst des Jahres 1907 hier in Jena Arbeiten auf dem Brillengebiete vorgenommen wurden, denen Hr. Gullstrand nicht fremd war. Auf seine mehr oder minder direkte Anregung' wurden verschiedene Arten von Lupen, von Brillen und von schwachen Ferngläsern berechnet, wobei stets in weitgehender Weise die Augendrehung berücksichtigt wurde. Die sorgfältige Prüfung der verschiedenen Ausführungsformen lieferte uns hier den Beweis

[1]) *Archiv f. Optik* **1.** *S. 41. 1907*; die Stelle ist auch abgedruckt in *Graefes Archiv f. Ophthalm.* **75.** *S. 582. 1910.*

von der Richtigkeit der zugrunde gelegten Konstruktionsprinzipien. Es ist ganz selbstverständlich, daß sich aus solchen Arbeiten auch eine Erweiterung der theoretischen Kenntnisse ergab. Ich möchte hierher einmal die Überlegungen über die Form des Blickfeldes rechnen, die für alle anastigmatischen Brillen, abgesehen von den Lupenbrillen, wünschenswert ist, und ferner die Behandlung der astigmatischen Brillen im schiefen Strahlengange, woran sich vor den Gullstrandschen Arbeiten meines Wissens niemand gewagt hat.

Eine Kenntnis der früheren Arbeiten habe ich erst im Frühjahr 1908 erlangt, als ich versuchte, mich in der ophthalmologischen und brillentechnischen Literatur zu unterrichten. Daß es mir fern lag und liegt, die Priorität anderer Forscher in Frage zu ziehen, wird man aus den eingehenden Literaturangaben in meiner Monographie entnehmen, die eine Nachprüfung meiner Aussagen im einzelnen einem jeden möglich machen. Daß sich vor Hrn. Gullstrand frühere Forscher mit der Würdigung des Augendrehpunkts beschäftigt haben, habe ich daher auch an mehreren Stellen des Textes erwähnt und besonders die Priorität der Hrn. Ostwalt und Tscherning für den Fall der punktuell abbildenden achsensymmetrischen Brillengläser hervorgehoben. Ich vermag aber auch heute, nach der Durchsicht der Müllerschen Arbeit und der vollständigeren Würdigung der ersten Tscherningschen Äußerung nicht weiter zu gehen: wenn ich berücksichtige, wie Hr. Gullstrand die Aufnahme seiner Ideen durch die Jenaer Werkstätte erreicht, wie er die verschiedenen Klassen von Instrumenten zur Unterstützung des ungehindert blickenden Auges hervorgehoben, und wie er die verschiedenen Fehler schiefer Büschel berücksichtigt hat, so kann ich als konstruierender Optiker nicht umhin, sein Eingreifen auf diesem Gebiet der konstruktiven Optik für ganz besonders folgenreich zu halten. Und wenn nicht ganz selten in der Geschichte der Naturwissenschaften nicht die erste Anregung, sondern die erfolgreiche Durcharbeitung und die glückliche Einführung für die Benennung einer wissenschaftlichen Leistung entscheidend gewesen ist, so werde ich auch in diesem Falle fortfahren, das hier besprochene Konstruktionsprinzip überall da als die Gullstrandsche Bedingung zu bezeichnen, wo dieses Prinzip auch auf die chromatische Korrektion schiefer Büschel oder wo es auf andere Instrumente als achsensymmetrische Brillen Anwendung findet.

Referate.

Die Spektrographen in Ottawa.

Von J. S. Plaskett. *Journ. Roy. Astron. Soc. of Canada* **3.** *S. 287. 1909.*

Eine der wichtigsten Aufgaben bei der Konstruktion eines Sternspektrographen ist die Vermeidung der schädlichen Wirkungen der Biegung. Für einen Dreiprismen-Spektrographen beträgt die Gesamtablenkung des Lichtstrahls nahezu 180°; die photographische Platte kommt daher in die Nähe des Spaltes zu liegen, und es ist verhältnismäßig leicht, diesen Apparaten bei ihrer gedrungenen Form die nötige Festigkeit zu geben. Viel schwieriger ist dies bei Apparaten mit nur einem Prisma. Da hier die Ablenkung nur etwa 60° beträgt, bildet die Kamera mit dem Kollimator einen stumpfen Winkel von etwa 120°, und die Apparate werden daher sehr lang. Alle älteren Spektrographen dieser Art wurden nur mit einem der Spaltebene nahe liegenden Teil ihrer tragenden Konstruktion am Okularende des Refraktors befestigt, und die photographische Platte war von der Befestigungsstelle oft um mehr als einen Meter entfernt, sodaß bei den wechselnden Lagen des Refraktors stärkere Durchbiegungen unvermeidlich waren.

Auch die ersten Spektrographen der Sternwarte in Ottawa gehörten diesem Typus an. Dazu kam noch, daß man für zwei verschiedene Apparate — mit einem und mit drei Prismen — einen gemeinsamen Kollimatorteil verwendete, wodurch neue Gefahren für die Stabilität entstanden.

Um die Biegungen möglichst zu beseitigen, konstruierte Plaskett den Einprismenspektrographen in einer abweichenden, neuen Form. Der Spektrograph selbst hat die Gestalt eines flachen dreieckigen Kastens, der, wie in Fig. 1 ersichtlich, aus dünnen Stahlplatten zusammengeschraubt ist. *CD* ist das Kollimatorrohr, *FB* die Kamera. Bei *A*, etwa im Schwerpunkt des Ganzen, laufen die kräftigsten, tragenden Rippen zusammen, und durch die Öffnung bei *A* wird ein Bolzen gesteckt, der in der aus Fig. 2 ersichtlichen Weise die Hauptlast des Spektrographen bei seiner Befestigung am Refraktor zu tragen hat. Das tragende Gestell ist vollständig von dem eigentlichen Spektralapparat getrennt und besteht aus einem aus vier T-Schienen und einigen Verbindungsstücken zusammengeschraubten, seitlich jedenfalls noch ziemlich biegsamen Gerüst. Damit Verbiegungen des Gerüstes keine Verspannung des Spektrographen hervorrufen, ist letzterer nicht starr mit dem Traggestell verbunden, sondern die Tragbolzen *A* und *E* erlauben noch geringfügige Drehungen und Parallelverschiebungen des Apparates gegen das Gestell, und an dem dritten Bolzen *H* greifen nur die Hebel zweier Gegengewichte an, welche einen entsprechenden Teil des Gewichtes des Kameraendes in jeder Instrumentlage frei schwebend erhalten. Der Gedanke dieser mehrfachen Unterstützung des Spektrographen wurde zum ersten Mal von Campbell bei dem südlichen Mills-Spektrographen (vgl. *diese Zeitschr.* ***28.*** *S. 344. 1908*) durchgeführt. Es unterliegt keinem Zweifel, daß auf diese Weise die Verbiegungen des optischen Apparats auf ein Minimum reduziert werden können.

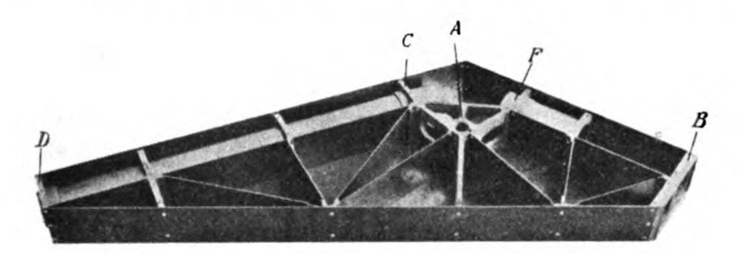


Fig. 1.

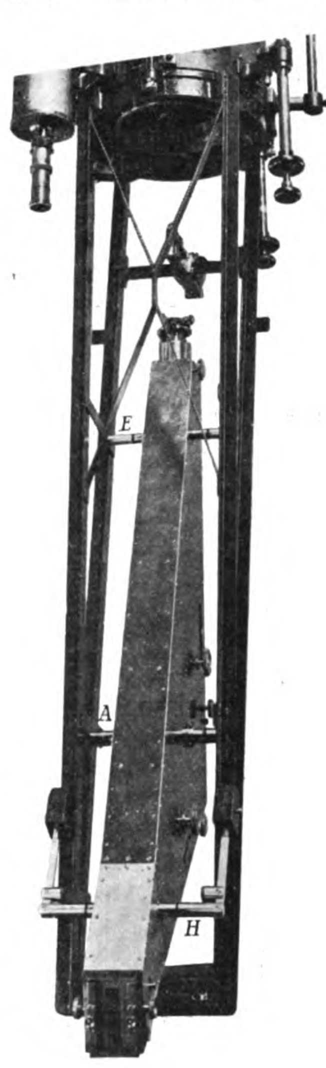


Fig. 2.

Über die sonstige Einrichtung des Spektrographen ist nur noch wenig zu sagen. Als Kollimatorobjektiv wurde das „*Isokumatic*“ von Hastings-Brashear mit 51 *mm* Öffnung und 765 *mm* Brennweite verwendet, welches eine recht flache Farbenkurve besitzt. Das Prisma besteht aus dem fast in allen modernen Sternspektrographen benutzten Jenaer Flintglas O 102 und hat bei 57 *mm* Höhe eine Seitenlänge von 110 *mm* und den brechenden Winkel 63° 30′. Als Kameraobjektiv wurde auf Grund der eingehenden Untersuchungen des Verfassers (s. *diese Zeitschr.* ***31.*** *S. 350. 1911*) ein „*Single Material*“-Objektiv von Brashear mit 58,7 *mm* Öffnung und 455 *mm* Brennweite gewählt. Der Spektrograph ist für das Minimum der Ablenkung der Wellenlänge λ 4325 eingestellt und wird vorzüglich zur Aufnahme der Spektra von Sternen des I. Typus, die breite und verwaschene Linien besitzen, sowie für

lichtschwache Spektra benutzt. Beim Gebrauche wird er mit einem hölzernen Schutzkasten umgeben, in welchem die Temperatur durch elektrische Heizung automatisch konstant erhalten wird. *J. H.*

Beschreibung des Mellon-Spektrographen.

Von F. Schlesinger. *Publ. of the Allegheny Observatory* **2.** *S. 1. 1910.*

Der Mellon-Spektrograph, so genannt nach seinem Stifter Mr. Andrew Mellon, soll Verwendung finden in Verbindung mit dem Cassegrain-Reflektor der neuen, unter Schlesingers Leitung erbauten Sternwarte in Allegheny bei Pittsburg. Es ist ein Einprismen-Instrument, welches sehr große Ähnlichkeit mit dem früher (s. das vorstehende Referat) besprochenen neuen Spektrographen in Ottawa hat. Auch die Sicherung gegen die Einflüsse der Biegung wurde in ganz ähnlicher Weise wie dort durchgeführt.

Wegen der großen Brennweite des Cassegrain-Reflektors (1:24) konnten aber die optischen Teile des Spektrographen kleiner gewählt werden. Das Kollimatorobjektiv, ein Triplet von Brashear, hat 28 *mm* Öffnung und 63 *mm* Brennweite; das Prisma aus Jenaer Flintglas O 102 hat 57 *mm* Seitenlänge, 44 *mm* Höhe und den Winkel 62° 45′; das Kameraobjektiv ist ebenfalls ein Triplet von 40 *cm* Brennweite. Da der Reflektor infolge von Temperaturschwankungen seine Brennweite zuweilen schon im Laufe der Belichtung eines Sternspektrums um viele Millimeter ändert, wurde der ganze Spektrograph in der Richtung der optischen Achse verschiebbar gemacht, sodaß sein Spalt immer leicht im Brennpunkt erhalten werden kann.

Die Lichtstärke dieses Apparats ist recht groß. Bei den — allerdings äußerst seltenen — günstigsten Luftverhältnissen konnte auf hochempfindlichen Platten ein Spektrum von Algol (2. Größe) in 40 Sekunden erhalten werden; bei mittlerem Luftzustande erfordert ein Stern 5. Größe etwa eine Stunde Belichtung. *J. H.*

Versuchsmessungen mit einem Zeissschen Invert-Telemeter.

Von K. Löschner. *Österr. Zeitschr. f. Vermess.* **9.** *S. 123. 1911.*

Die in letzter Zeit von der Firma C. Zeiss in Jena für militärische Zwecke konstruierten „Invert-Telemeter“ mit 70 *cm* und mit 1 *m* langer Basis am Instrument sind „Koinzidenz“-Telemeter, in deren Gesichtsfeld der Zielpunkt in einem unteren aufrechtstehenden Bild und in einem oberen verkehrtliegenden Spiegelbild erscheint. Diese beiden Zielpunktsbilder liegen im Gesichtsfeld bei der Ablesung ∞ (Normalstellung) dann übereinander, wenn der Zielpunkt unendlich weit entfernt ist; bei endlich weit entfernten Gegenständen dagegen erscheinen bei der Normalstellung die beiden Bilder nicht übereinander, sondern gegeneinander verschoben um einen Betrag, der von der Entfernung des Gegenstandes abhängt. Durch die Drehung einer Walze lassen sich die beiden Objektbilder zur Deckung bringen, und durch diese Drehung wird zugleich eine links im Gesichtsfeld sichtbare, bezifferte Skale bewegt, an der die Entfernung unmittelbar abgelesen werden kann. Die Skale zeigt von unten nach oben (d. h. mit wachsender Entfernung) abnehmende Intervalle. Für Messungen bei Nacht, wo also nur Lichtpunkte angezielt werden können, werden diese durch eine „astigmatische Einrichtung“ zu Lichtstrichen verzerrt, die dann zur Koinzidenz gebracht werden können. Die Prüfung der Entfernungsangaben des Telemeters geschieht, wie stets, am besten mit Benutzung einer anderweit genügend genau bekannten Entfernung; es kann auch eine dem Instrument beigegebene „Justierlatte“ verwendet werden, an der zwei Strichmarken in der Entfernung der zwei Objektivmitten des Instruments angebracht sind.

Der Verf. hat nun das Invert-Telemeter Nr. 594 mit 70 *cm*-Basis an mehreren Tagen bei guter Witterung geprüft in Beziehung auf die Genauigkeit der Entfernungsangaben, an den Strecken 400, 500, 600 *m* (mit Meßband unmittelbar abgemessen), dann an den unrunden bekannten Entfernungen 429, 877, 1462, 1615, 4560, 6731 *m*. Die Zielpunkte waren dabei in den drei ersten Fällen Fahnenstangen, von einem Mann vertikal und ruhig gehalten, in den sechs letzten Fällen Gebäudepunkte (Blitzableiter u. dgl. auf Schornsteinen, Schorn-

steine ohne schärfere Zielpunkte). Später sind auch noch andere Strecken zwischen 1595 und 7600 *m* verwendet, endlich *bewegte* Ziele, wobei der das Ziel liefernde Mann (getragene Fahnenstangen oder Kopf des Mannes) z. T. in der Zielrichtung, z. T. senkrecht dazu sich bewegte. Die aus der innern Übereinstimmung wiederholter Messungen erhaltenen m. F. sind zum größten Teil überraschend klein; bedeutender waren zu Anfang der Versuche die Unterschiede zwischen bekannter Entfernung und Telemeterergebnis (beispielsweise bei einem der Versuche, mit richtiger Entfernung gleich 4560 *m*, Angabe des Telemeters im Mittel aus 5 Versuchen 3854 *m*, also notwendige Korrektion der Telemetermessung + 706 *m*, bei nur ± 69 *m* mittlerem Fehler einer der Messungen, aus ihren Abweichungen vom Mittel berechnet). Nach neuer Justierung des Instruments, wobei es sich vorteilhaft zeigte, einen möglichst weit entfernten Punkt zu verwenden, sanken diese systematischen Unterschiede, mit wenigen Ausnahmen, bis weit in den Bereich der unregelmäßigen m. F. herein. Dabei ist das Instrument handlich und leicht transportabel sowie rasch wirkend: „unter sehr günstigen Verhältnissen" können fünf Entfernungsbestimmungen für ein und dasselbe Objekt in zwei Minuten fertig sein. *Hammer.*

Komparator mittlerer Meßgenauigkeit zur Bestimmung von Strich- und Endmaßen.

Von Ch. Éd. Guillaume. *Anhang zu den Procès-verbaux du Comité Intern. des Poids et Mesures 6. 1911. 8°. 20 S. m. 6 Abbild. Paris, Gauthier-Villars 1911.*

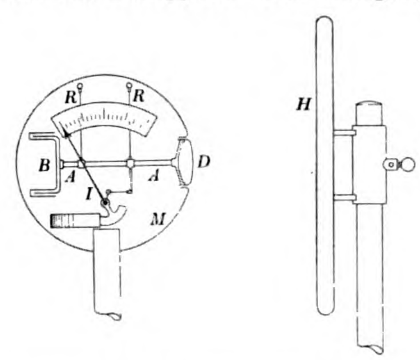
Zur Bestimmung von Strich- und Endmaßen mit einer maximalen Genauigkeit von ± 0,01 *mm* hat Guillaume — zunächst für die im Entstehen begriffene Zentral-Eichungsbehörde des Chinesischen Reiches — einen sehr einfachen Komparator durch die *Société Genevoise* bauen lassen. Als Vergleichsnormale dienen nicht Maßstäbe üblicher Form, sondern zwei auf dem Grundkörper des Komparators angebrachte Kantenteilungen von je 1020 *mm* Länge. Dem besonderen Zweck entsprechend, ist die eine Teilung in Fünftel-Millimeter, die andere, für chinesische Maße bestimmte, in Zehntel des *Fun* (1 *Fun* = 3,2 *mm*) geteilt. Der Grundkörper besteht ganz aus Nickelstahl mit 42 Prozent Ni. Die zu prüfenden Strichmaße müssen Kantenteilung haben. Sie werden auf justierbaren Tischen an die Grundteilung angelegt. Durch starke Lupen wird die relative Lage der Teilstriche schätzungsweise abgelesen. Endmaße werden zwischen verschiebbare Strichindizes gefaßt, deren Körper mit geeigneten Berührungsflächen versehen sind. Der eine Index federt, der andere ist mit Feinverschiebung versehen. Das Instrument, dessen technische Einzelheiten recht einfach sind, ist von Guillaume auf das gründlichste untersucht worden. Die guten Erfahrungen, welche bei der Benutzung gemacht wurden, haben Anlaß zur Konstruktion eines zweiten, ähnlichen Instruments gegeben, welches nur für Vergleichungen nach metrischem Maß bestimmt ist. Die Abhandlung enthält hierüber zahlreiche Einzelheiten. *G.*

Ein statischer Hochspannungsmesser für direkte Ablesung.

Von H. Abraham und P. Villard. *Compt. rend.* ***152.*** *S. 1131. 1911; Bull. Soc. internat. des électriciens* ***1.*** *S. 247. 1911; Journ. de phys.* ***1.*** *S. 525. 1911.*

Der Hochspannungsmesser besteht aus einer zylindrischen Metallbüchse *M*, die auf einem Glasstab isoliert befestigt ist. Ein kreisförmiges Loch in der Büchse ist ausgespart und wird von einer Platte *D* mit abgerundeten Ecken ausgefüllt, die im Innern der Büchse an zwei Metallbändern *RR* aufgehängt ist. Das andere Ende des Balkens *AA*, an dem die Platte *D* befestigt ist, trägt eine Dose *B*, welche eine kräftig wirkende Luftdämpfung darstellt. Die horizontalen Bewegungen des Balkens *AA* werden durch eine einfache Hebelübersetzung auf einen vor einer Skale spielenden Zeiger *I* übertragen, dessen Bewegungen durch einen Magneten gedämpft sind. Sämtliche Teile der Büchse sind metallisch miteinander verbunden. Gegenüber der Scheibe *D* ist eine große, durch einen Glasfuß isolierte Platte *H* angeordnet, die auf eine hohe Spannung gebracht werden kann. Wird der Meß

apparat selbst geerdet, so wirkt die Hochspannungsplatte H auf die Scheibe D anziehend, und der Meßapparat kann bei geeigneter Eichung die Spannung der Platte gegen Erde angeben. Durch Verändern des Abstandes der Hochspannungsplatte von der Scheibe D läßt sich die Empfindlichkeit regulieren, und es können verschiedene Meßbereiche geschaffen werden. Bei einem Meßbereich bis 200000 Volt beträgt der Abstand etwa 20 *cm*. Natürlich dürfen während der Messung nicht andere Hochspannung führende Teile in die Nähe des Apparates gebracht werden, da sonst diese ebenfalls elektrostatische Kräfte auf das bewegliche System ausüben würden. Andrerseits kann man auch, wenn der Apparat mehr als 1 *m* von leitenden Körpern der Umgebung entfernt ist, die Hochspannungsplatte weglassen und den Meßapparat selber auf die Hochspannung bringen. Er kann dann so geeicht werden, daß er seine Spannung gegen Erde angibt. *E. O.*

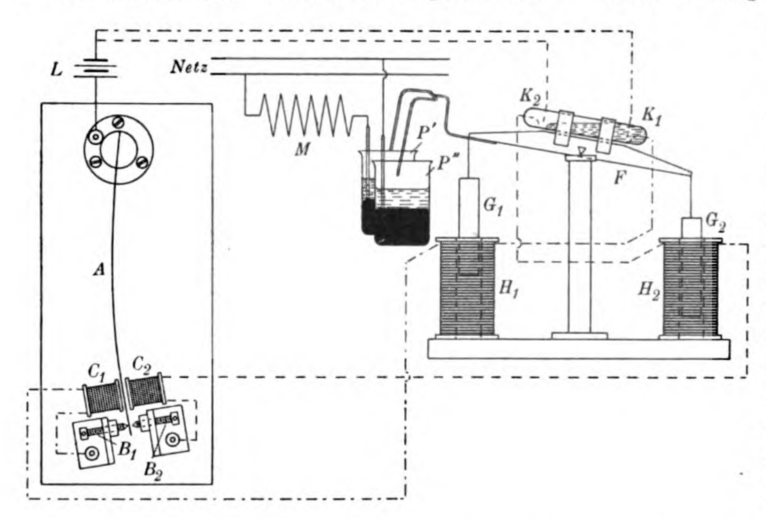


Ein Thermostat zum Regulieren der Zimmertemperatur.

Von Earl of Berkeley und C. V. Burton. *Phil. Mag.* **22.** *S. 211. 1911.*

Die Verf. haben den im folgenden beschriebenen Thermostaten mit Erfolg angewendet, um die Temperatur eines Kellerraumes, in dem ein Interferometer aufgestellt war, konstant zu erhalten. Aus dem angeführten Beispiel ist ersichtlich, daß es gelang, während dreier Stunden die maximalen Schwankungen auf 0,02° zu beschränken.

Die Heizung des Raumes erfolgte auf elektrischem Wege durch Erwärmung des Widerstandes M (vgl. d. Fig.). Ein Doppelstreifen A von 46 *cm* Länge, aus Invar und Messing, dessen Krümmung mit der Temperatur variiert, ist der wesentlichste Teil des Regulators. Berührt er die Platinspitze B_1, so wird die Hilfsbatterie L geschlossen, indem der Strom durch die Spulen C_1 und H_1 sowie den Quecksilberkontakt K_1 fließt. Die Spule C_1 verbessert den Kontakt B_1 durch Heranziehen des Stabes A, da sie magnetisch auf das Invar wirkt. In die Spule H_1 wird der Eisenkern G_1 hineingezogen.



Dadurch wird der Wagebalken F auf dieser Seite gesenkt, gleichzeitig durch das nach links fließende Quecksilber der Kontakt bei K_1 unterbrochen und der Heizstrom durch die Quecksilberkontakte in den Bechergläsern P' und P'' geschlossen. Steigt nun die Temperatur des Zimmers, so vergrößert sich die Krümmung des Stabes A, bis er den Platinkontakt B_2 berührt. Die Folge ist, wie aus der Figur leicht ersichtlich, daß der Relaisstrom den Eisenkern G_2 in die Spule H_2 zieht und den Heizstrom unterbricht.

Die gewünschte Temperatur und die Grenzen, in denen eine Schwankung zulässig ist, werden durch die Justierung der Platinspitzen B_1 und B_2 eingestellt. Bei 15° C. betragen die Schwankungen etwa 0,1° C., wenn sich der Stab A zwischen den Spitzen auf einer Strecke von 0,25 *mm* frei bewegen kann. Um durch den Thermostaten die Temperatur des

ganzen Raumes regulieren zu können, ist es nötig, die Zimmerluft durch einen Ventilator kräftig zu rühren. Dadurch werden zwar leicht schnelle Schwankungen des Stabes *A* hervorgerufen, die indessen vermieden werden können, wenn man ihn mit einem Drahtnetz umgibt. *Hng.*

Bücherbesprechungen.

A. Fennel, Geodätische Instrumente. Heft II. Nonien-Theodolite. Lex. 8°. VI, 62 S. mit 65 Fig. Stuttgart, K. Wittwer 1911. 2 M.

Dem I. Heft seiner „Geodätischen Instrumente" (Nivellierinstrumente) (vgl. *diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 320. 1910*) läßt der Verf. hier rasch das II. folgen, in dem alle in seiner Werkstatt regelmäßig angefertigten *Nonien-Theodolite* (wenige Tachymetertheodolite mit anallaktischem Fernrohr und Röhrenbussole ausgenommen) beschrieben und in zahlreichen, prachtvollen Abbildungen z. T. in Ansichten, z. T. in Schnitten vorgeführt werden. Die Instrumente sind sämtlich zum Repetieren der Horizontalwinkel eingerichtet; der Verf. betont mit Recht, wie unzweckmäßig es ist, wegen einer geringfügigen Preisermäßigung der für Arbeiten der Niedern Geodäsie bestimmten Nonien-Theodolite die Leistungsfähigkeit dieser Instrumente so erheblich zu vermindern, wie es durch Weglassen der Multiplikationsvorrichtung für die Horizontalwinkel geschieht.

Die I. Abteilung der Schrift enthält die Beschreibung der Nonien-Theodolite, die II. ihre Berichtigung, die III. die Beschreibung von Zugaben und Hilfsinstrumenten für diese Instrumente, besonders im Sinn markscheiderischer Verwendung, die IV. endlich eine willkommene Anleitung zur sachgemäßen Behandlung und Reinigung der Instrumente. Abschnitt I teilt der Verf. ein in Theodolite mit offenem Horizontalkreis, mit offenem Horizontal- und Vertikalkreis, mit verdecktem Horizontalkreis, mit verdecktem Horizontal- und Vertikalkreis, mit verdeckten Kreisen und runder Bussole, mit verdeckten Kreisen und exzentrischem Fernrohr, endlich in Grubentheodolite ohne und solche mit Vertikalkreis. Für alle diese Instrumente, die in den verschiedensten Größen angefertigt werden, sind Teilkreisdurchmesser, Nonienangabe für alte und für neue Teilung, Öffnung, Fokus und Vergrößerung des Fernrohrs, Abmessungen des Instrumentenschranks, Gewichte von Instrument, Schrank, Stativ angegeben. Die III. Abteilung bringt im Okular gebrochene Fernrohre, Einrichtungen zur Beleuchtung des Gesichtsfelds, exzentrische Fernrohre, sodann besonders Einrichtungen für Grubentheodolite: Signale und Zentrierplatten, ferner Spreizenschrauben und Untersätze zum leichten und sichern gegenseitigen Umsetzen von Instrument und Signalen (als „verbesserte Freiberger Aufstellung" beschrieben) und zu demselben Zweck bestimmte Wandarme mit Gelenken (als „Waldenburger Aufstellung"); ferner enthält sie ein Signal zu Polygonmessungen in Städten, Fernrohrlotinstrumente (optisches Abloten mit Hilfe der Fernrohrziellinie durch die hohle Stehachse des Instruments hindurch), Aufsatzbussolen und Orientierbussolen und endlich ziemlich ausführlich das Fennelsche Orientierungs-Magnetometer, mit Angabe der wichtigsten Literatur über dieses Instrument (*S. 57*).

Eine sprachliche Bemerkung hierzu sei: Sollten wir im Deutschen uns nicht endlich einigen auf die Deklinationsform: „der Theodolit, des Theodolits, dem Theodolit(e), den Theodolit", statt, wie auch der Verf. gelegentlich noch tut, „des Theodoliten, dem Theodoliten" zu sagen, besonders nachdem man wohl allgemein (so auch der Verf.) als Plural nur noch „die Theodolite", nicht mehr „die Theodoliten" verwendet. Das in jeder Beziehung ungerechtfertigte frühere Schluß-*h* bei Theodolit ist ja jetzt wohl überall gefallen; nicht mehr zu ändern ist wohl „*der* Theodolit" in das sprachlich-historisch richtigere „*das* Theodolit", und so mag es beim Maskulinum bleiben.

Das schöne Heft sei allen Lesern unserer Zeitschrift bestens empfohlen.

Hammer.

Neu erschienene Bücher.

W. Thomson (Lord Kelvin), *Mathematical and Physical Papers. 6 volumes. Vol. V: Thermodynamics. cosmical and geological Physics, molecular and crystalline Theory, Electrodynamics, arranged and revised with annotations by J. Larmor.* 8°. XV, 602 S. m. Fig. Cambridge 1911. Geb. in Leinw. 19 M. — Bd. I—IV. 1880—1910. Mit Fig. Geb. in Leinw. 66 M.

F. Kohlrausch, Gesammelte Abhandlungen. Hrsg. v. Wilh. Hallwachs, Adf. Heydweiller, Karl Strecker, Otto Wiener. 2. (Schluß-)Bd. Elektrolyte: Elektrolytische Leitung, Leitvermögen u. Polarisation, Physik der Lösungen. Mit e. Lebensbild des Verf. v. A. Heydweiller. gr. 8°. LXXII, 1305 S. m. 5 Taf. u. 84 Fig. im Text. Leipzig, J. A. Barth 1911. 30 M., geb. in Halbfrz. 32 M.

Das jetzt vollständige Werk, 2 Bände, 1910—11. 1143 u. 1377 S. m. 1 Bildnis, 6 Taf. u. 201 Fig. 55 M.

Th. Tapla, Grundzüge der niederen Geodäsie. IV. (Schluß-)Teil. Verwertung von geodät. Aufnahmen. gr. 8°. VI, 62 S. m. 10 lith. Taf. Wien, F. Deuticke 1911. 3 M.

Tl. I—IV (Tl. I in 2. Aufl.): 69, 287, 114 u. 62 S. m. 50 Taf. 1906—1911. 18,50 M.

Naturwissenschaft u. Technik in Lehre u. Forschung. Eine Sammlg. v. Lehr- u. Handbüchern, hrsg. v. Prof. Dr. F. Doflein u. Prof. Dr. K. F. Fischer. gr. 8°. Leipzig, B. G. Teubner.

H. Ebert, Lehrbuch der Physik nach Vorlesungen an der technischen Hochschule zu München. 1. Bd. Mechanik. Wärmelehre. XX, 661 S. m 168 Abbildgn. 1912. Geb. in Leinw. 14 M.

Zeitschrift für Elektrochemie u. angewandte physikalische Chemie. Hrsg. v. der deutschen Bunsen-Gesellschaft f. angewandte physikal. Chemie (eingetrag. Verein). Generalregister zu Bd. 1—10, Jahrg. 1894—1904. 2. Tl.: Sachverzeichnis. Bearb. v. Prof. Dr. E. Jordis. Lex. 8°. S. 115—315. Halle, W. Knapp 1911. 18,50 M.

1. Tl.: Namenverzeichnis. 113 S. 1910. 11,50 M.

A. Föppl, Vorlesungen üb. technische Mechanik. In 6 Bdn. 2. Bd. Graphische Statik. 3. Aufl. 8°. XII, 419 S. m. 209 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1912. Geb. in Leinw. 8 M.

W. S. Franklin u. B. Macnutt, *Mechanics and heat.* 8°. Mit Fig. London 1911. Geb. in Leinw. 7,80 M.

J. H. Poynting, *The pressure of light.* 8°. Mit Fig. London 1911. Geb. 2,80 M.

J. O. Reed u. K. E. Guthe, *College physics.* 8°. Mit Fig. London 1911. Geb. in Leinw. 12,50 M.

G. L. Hosmer, *Textbook of practical astronomy.* gr. 8°. IX, 205 S. m. 5 Taf. u. 78 Fig. New York 1910. Geb. in Leinw. 10 M.

J. B. Johnson, *Theory and practice of Surveying.* 17. Ausg., bearb. v. L. S. Smith. 8°. Mit Taf. u. Fig. New York 1910. Geb. in Leinw. 17,50 M.

Sammlung Göschen. Unser heutiges Wissen in kurzen, klaren, allgemeinverständl. Einzeldarstellgn. Neue Aufl. kl. 8°. Leipzig, G. J. Göschen. Geb. in Leinw. jedes Bdchn. 0,80 M.

65. M. Simon, Analytische Geometrie der Ebene. 3., verb. Aufl. 195 S. m. 52 Fig. 1911.

H. Graßmanns gesammelte mathematische u. physikalische Werke. Auf Veranlassg. der mathematisch-phys. Klasse der kgl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften hrsg. v. F. Engel. gr. 8°. Leipzig, B. G. Teubner.

III. Bd. 2. Tl.: Leben Graßmanns nebst Verzeichnis seiner veröffentlichten Schriften u. Übersicht des handschriftlichen Nachlasses, von F. Engel. XIII, 400 S. mit 3 Fig. 1911. 18 M.

Das jetzt vollständige Werk, 3 Bände, 1894—1911. 970. 736 u. 766 S. m. 1 Bildnis u. 186 Fig. 94 M.

A. Wegener, Thermodynamik der Atmosphäre. gr. 8°. VIII, 331 S. m. 143 Abbildgn. im Text u. auf 17 Taf. Leipzig, J. A. Barth 1911. 11 M.; geb. in Leinw. 12 M.

Namen- und Sach-Register.

Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1911.

Name	Wohnort
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Brodhun (*E. Br.*)	Charlottenburg
Dr. H. Erfle	Jena
Dr. Giebe (*Gb.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. Göpel (*G.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. L. Grunmach	Charlottenburg
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Gumlich (*Glch.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. E. v. Hammer	Stuttgart
Prof. Dr. J. Hartmann (*J. H.*)	Göttingen
Prof. Dr. Hecker (*Hck.*)	Straßburg
Dr. Henning (*Hng.*)	Charlottenburg
Dr. L. Janicki (*L. J.*)	Charlottenburg
Admiralitäts-Rat Prof. Dr. E. Kohlschütter (*Ks.*)	Berlin

Name	Wohnort
Dr. A. König (*A. K.*)	Jena
Prof. Dr. E. Liebenthal (*E. Lb.*)	Charlottenburg
Admiralitäts-Rat Prof. Dr. H. Maurer (*H. M.*)	Berlin
Dr. Meißner (*Mfsr.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. E. Orlich (*E. O.*)	Charlottenburg
Dr. M. v. Rohr	Jena
Prof. Dr. Rothe (*Rt.*)	Clausthal
Prof. Dr. Scheel (*Schl.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. Schönrock (*Schck.*)	Charlottenburg
Dr. Sieber (*Sbr.*)	Jena
Prof. Dr. H. Th. Simon	Göttingen
Prof. Dr. S. Valentiner (*S. V.*)	Clausthal
Prof. B. Wanach	Potsdam

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

ZEITSCHRIFT
FÜR
INSTRUMENTENKUNDE.

Organ
für
Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
von
L. Ambronn in Göttingen, **W. Foerster** in Berlin, **R. Fuess** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **F. R. Helmert** in Potsdam, **H. Kronecker** in Bern, **H. Krüss** in Hamburg, **V. v. Lang** in Wien, **A. Raps** in Berlin, **J. A. Repsold** in Hamburg, **A. Rueprecht** in Wien, **R. Straubel** in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Redaktion: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einunddreißigster Jahrgang.

1911.

12. Heft: Dezember.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1911.

Hierzu Beiblatt: (Deutsche Mechaniker-Zeitung) — Nr. 23 u. 24.

Die Adresse der **Redaktion** lautet jetzt:
„Prof. Dr. F. Göpel, Berlin-Charlottenburg 2, Guericke-Straße 26II."

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften von etwa 4 Quartbogen (Hauptblatt) und einem Beiblatt (Deutsche Mechaniker-Zeitung) im Umfange von etwa 2 Bogen im Monat. — Preis des Jahrgangs M. 24,—.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen für das Hauptblatt wolle man an den Redakteur desselben, Prof. Dr. F. Göpel, Berlin-Charlottenburg 2, Guericke-Straße 26 II, richten.

nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -Angebote etc. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

	Bei jährlich	1	3	6	12 mal. Aufnahme
kostet die einmal gespaltene Petitzeile		50	45	40	30 Pf.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung, sowie von den Annoncenexpeditionen angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Abonnements nehmen entgegen alle Buchhandlungen und Postanstalten des In- und Auslandes, sowie auch die Verlagsbuchhandlung von Julius Springer in Berlin W. 9, Link-Str. 23/24.

Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

